

### ■緊固螺栓時的緊固軸力及疲勞限度

- 計算緊固螺栓時的適當緊固軸力,於扭矩法中其彈性範圍的上限為規格耐力的70%
- 螺栓的疲勞強度不會因反覆荷重而超過容許值
- 勿使螺栓或螺帽的底面對被緊固物產生凹陷
- 勿使被緊固物因緊固而破損

螺栓的緊固方法有扭矩法、扭矩斜度法、旋轉角法、延伸測定法等,其中因為扭矩法最簡便而廣為利用。

### ■計算緊固軸力與緊固扭矩

緊固軸力Ff的關係以公式(1)表示。

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

緊固扭矩TfA可以從公式(2)求出。

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

k : 扭矩係數

d : 螺栓直徑No.[cm]

Q : 緊固係數

$\sigma_y$  : 耐力(強度區分為12.9時1098N/mm<sup>2</sup>{112kgf/mm<sup>2</sup>})

A<sub>s</sub> : 螺栓的有效斷面積[mm<sup>2</sup>]

### ■計算例

求出軟鋼與軟鋼在有油潤滑的狀態下,以內六角螺栓M6(強度區分12.9)緊固時的適當扭矩與軸力。

- 從公式(2)求出適當扭矩

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

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

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

- 從公式(1)求出軸力Ff

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

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

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

### ■由螺栓表面處理與被緊固物及內螺牙材質的組合所得之扭矩係數

螺栓表面處理	扭矩係數 k	組合	
		被緊固物材質 (a)	內螺牙材質 (b)
鋼螺栓 染黑處理 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		
鋼螺栓 染黑處理 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: 鑄鐵(FC200) AL: 鋁 SUS: 不銹鋼(SUS304)

### ■初期緊固力與緊固扭矩

螺牙No.	有效斷面積 A <sub>s</sub> mm <sup>2</sup>	強度區分																	
		12.9			10.9			8.8											
		降伏荷重 N {kgf}	初期緊固力 N {kgf}	緊固扭矩 N·cm {kgf·cm}	降伏荷重 N {kgf}	初期緊固力 N {kgf}	緊固扭矩 N·cm {kgf·cm}	降伏荷重 N {kgf}	初期緊固力 N {kgf}	緊固扭矩 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

(註) · 緊固條件: 使用扭矩扳手(表面油潤滑) 扭矩係數k=0.17 緊固係數Q=1.4)  
 · 扭矩係數會因為使用條件而有所變更,本表請作為其參考標準使用。  
 · 本表是摘錄自株式會社極東製作所的目錄編輯而成。

### ■螺栓的強度

1) 螺栓承受拉伸荷重時

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

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

Pt : 軸方向的拉伸荷重 [N]  
 $\sigma_b$  : 螺栓的降伏應力 [N/mm<sup>2</sup>]  
 $\sigma_t$  : 螺栓的容許應力 [N/mm<sup>2</sup>]  
 ( $\sigma_t = \sigma_b / \text{安全係數 } a$ )  
 A<sub>s</sub> : 螺栓的有效斷面積 [mm<sup>2</sup>]  
 $A_s = \pi d^2 / 4$   
 d : 螺栓的有效徑(谷徑) [mm]

(例) 求出一支內六角螺栓在承受Pt=1960N {200kgf} 的反覆(單震) 拉伸荷重時適當的尺寸。(內六角螺栓材質: SCM435、38~43HRC、強度區分為12.9。)

從公式(1)

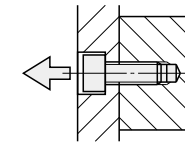
$$A_s = Pt / \sigma_t$$

$$= 1960 / 219.6$$

$$= 8.9 [\text{mm}^2]$$

根據右表, 可求出此值更大的有效斷面積, 因此選定14.2 [mm<sup>2</sup>] 的M5。

另外如果考慮到疲勞強度, 可以從表中的強度區分12.9來選擇容許荷重2087N {213kgf} 的M6。



2) 像等高螺栓一樣需要承受拉伸衝擊荷重時, 請從疲勞強度來選擇。(同樣承受1960N {200kgf} 的荷重, 等高螺栓的材質為: SCM435、33~38HRC、強度區分為10.9。)

從右表可以查出強度區分10.9的容許荷重在1960N {200kgf} 以上時應該用3116N {318kgf} 的M8。再選擇有M8的螺牙部軸徑為10mm的MSB10。另外需承受剪斷荷重時請併用定位銷。

### ■止付螺栓的強度

求出止付螺栓MSW30在承受衝擊荷重時的容許荷重P。

(MSW30的材質: S45C、34~43HRC的拉伸強度 $\sigma_b$ 為637N/mm<sup>2</sup> {65kgf/mm<sup>2</sup>})

MSW的谷徑部位承受剪斷

應力而破損的話,

$$\text{容許荷重 } P = \tau_t \times A$$

$$= 38 \times 1074$$

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

攻牙孔為柔軟材質時, 可從內螺牙谷徑求出容許剪斷應力。

剪斷面積A=谷徑d<sub>1</sub>×π×L  
 (谷徑d<sub>1</sub>≐M-P)  
 $A = (M-P) \pi L = (30-1.5) \pi \times 12$   
 $= 1074 [\text{mm}^2]$   
 降伏應力≐0.9×拉伸張力 $\sigma_b = 0.9 \times 637 = 573 [\text{N/mm}^2]$   
 剪斷應力≐0.8×降伏應力  
 $= 459 [\text{N/mm}^2]$   
 容許剪斷應力 $\tau_t = \text{剪應力} / \text{安全係數} 12$   
 $= 459 / 12 = 38 [\text{N/mm}^2] \{3.9 [\text{kgf/mm}^2]\}$

### ■定位銷的強度

求出一支定位銷在承受7840N {800kgf} 的反覆(單震) 剪斷荷重時適當的尺寸。(定位銷材質: SUJ2、硬度58HRC~)

$$P = A \times \tau$$

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

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

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

$$\approx 7.3$$

對應SUJ2的降伏應力 $\sigma_b = 1176 [\text{N/mm}^2] \{120 [\text{kgf/mm}^2]\}$   
 容許剪斷強度 $\tau = \sigma_b \times 0.8 / \text{安全係數 } a$   
 $= 1176 \times 0.8 / 5$   
 $= 188 [\text{N/mm}^2] \{19.2 [\text{kgf/mm}^2]\}$

∴如為MS的定位銷, 請選擇D8以上大小。

另外如果能將定位銷統一為較大尺寸, 可以節省工具與庫存。

### ■以拉伸強度為基準的Unwin安全係數a

材料	靜態荷重	反覆荷重		衝擊荷重
		單震	雙震	
鋼	3	5	8	12
鑄鐵	4	6	10	15
銅、軟金屬	5	5	9	15

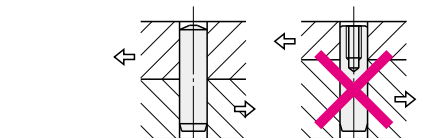
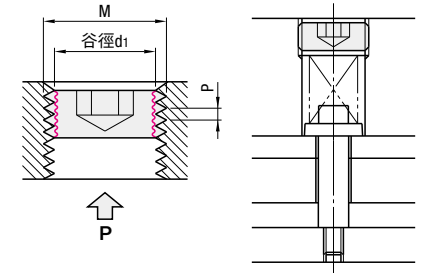
容許應力 =  $\frac{\text{基準強度}}{\text{安全係數 } a}$  基準強度: 延展性材料時為降伏應力  
 脆性材料時為破壞應力

強度區分12.9的降伏應力為 $\sigma_b = 1098 [\text{N/mm}^2] \{112 [\text{kgf/mm}^2]\}$   
 容許應力 $\sigma_t = \sigma_b / \text{安全係數}$ (從上表查出安全係數5)  
 $= 1098 / 5$   
 $= 219.6 [\text{N/mm}^2] \{22.4 [\text{kgf/mm}^2]\}$

### ■螺栓的疲勞強度 (為螺絲時: 疲勞強度為 200 萬回)

螺牙No.	有效斷面積 A <sub>s</sub> mm <sup>2</sup>	強度區分			
		12.9		10.9	
		疲勞強度* N/mm <sup>2</sup> {kgf/mm <sup>2</sup> }	容許荷重 N {kgf}	疲勞強度* N/mm <sup>2</sup> {kgf/mm <sup>2</sup> }	容許荷重 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}

疲勞強度\*是從「小螺絲類、螺絲以及螺帽用公制螺絲的疲勞限度推測值」(山本)摘錄修訂而成。



使用時請不要讓螺牙部位承受負荷。