

# 滾珠螺桿的精度

## 導程精度

滾珠螺桿的導程精度，以JIS規格 JIS B 1192 (ISO 3408) 為標準，進行精度管理。

精度等級C0~C5用直線性及方向性表示精度，C7~C10用螺紋長度300mm運行距離誤差表示其精度。

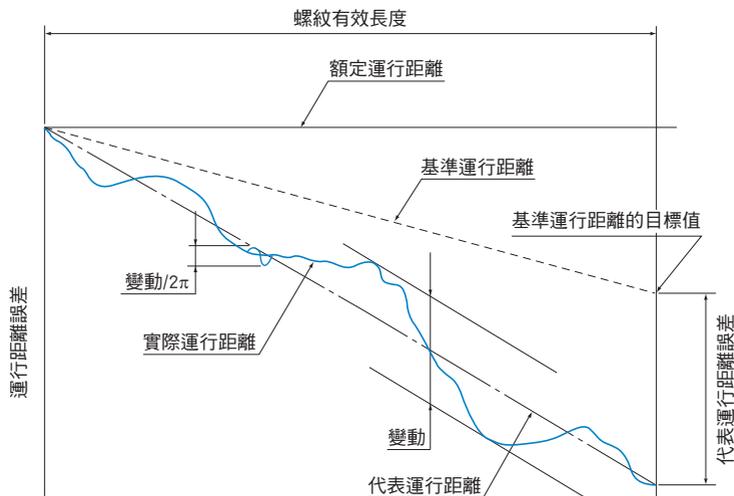


圖1 導程精度用語

### 【實際運行距離】

是對滾珠螺桿進行實際測試的運行距離誤差。

### 【基準運行距離】

一般來說，與額定運行距離是相同的。但是，根據使用目的不同，可取修正了的額定運行距離之值。

### 【基準運行距離的目標值】

為防止螺桿軸擺動而施加張力，或考慮到因外部施加的負荷以及溫度變化而產生伸縮等因素，可以事先將基準運行距離調節成“負”值或“正”值。在這種場合下，請說明基準運行距離的目標值。

### 【代表運行距離】

代表實際運行距離傾向的直線，它由表示實際運行距離的曲線，用最小二乘方法求得。

### 【代表運行距離誤差（用±表示）】

代表運行距離與基準運行距離之差。

### 【變動】

用平行于代表運行距離的 2 根直線將實際運行距離夾起來時，其最大變動幅度。

### 【變動/300】

表示螺紋全長內任意300mm的變動值。

### 【變動/2π】

螺桿軸旋轉1周內的變動。

表1 導程精度(容許值)

單位:  $\mu\text{m}$ 

精度等級		精密滾珠螺桿										轉造滾珠螺桿		
		C0		C1		C2		C3		C5		C7	C8	C10
螺紋有效長度		代表運行距離誤差	變動	代表運行距離誤差	變動	代表運行距離誤差	變動	代表運行距離誤差	變動	代表運行距離誤差	變動	運行距離誤差	運行距離誤差	運行距離誤差
以上	以下													
—	100	3	3	3.5	5	5	7	8	8	18	18	±50/ 300mm	±100/ 300mm	±210/ 300mm
100	200	3.5	3	4.5	5	7	7	10	8	20	18			
200	315	4	3.5	6	5	8	7	12	8	23	18			
315	400	5	3.5	7	5	9	7	13	10	25	20			
400	500	6	4	8	5	10	7	15	10	27	20			
500	630	6	4	9	6	11	8	16	12	30	23			
630	800	7	5	10	7	13	9	18	13	35	25			
800	1000	8	6	11	8	15	10	21	15	40	27			
1000	1250	9	6	13	9	18	11	24	16	46	30			
1250	1600	11	7	15	10	21	13	29	18	54	35			
1600	2000	—	—	18	11	25	15	35	21	65	40			
2000	2500	—	—	22	13	30	18	41	24	77	46			
2500	3150	—	—	26	15	36	21	50	29	93	54			
3150	4000	—	—	30	18	44	25	60	35	115	65			
4000	5000	—	—	—	—	52	30	72	41	140	77			
5000	6300	—	—	—	—	65	36	90	50	170	93			
6300	8000	—	—	—	—	—	—	110	60	210	115			
8000	10000	—	—	—	—	—	—	—	—	260	140			

注)螺紋有效長度的單位:mm

表2 螺紋長度300mm及旋轉1周的變動值(容許值)

單位:  $\mu\text{m}$ 

精度等級	C0	C1	C2	C3	C5	C7	C8	C10
變動/300	3.5	5	7	8	18	—	—	—
變動/2 $\pi$	3	4	5	6	8	—	—	—

表3 類型與等級

類型	等級	附注
用於決定位置	0, 1, 3, 5	符合ISO
用於搬送	0, 1, 3, 5, 7, 10	

例如:對以基準運行距離的目標值為 $-9\mu\text{m}/500\text{mm}$ 製作的滾珠螺桿進行導程測試,得到以下資料。

表4 運行距離誤差的測試資料

單位:mm

指令位置(A)	0	50	100	150
運行距離(B)	0	49.998	100.001	149.996
運行距離誤差(A-B)	0	-0.002	+0.001	-0.004
指令位置(A)	200	250	300	350
運行距離(B)	199.995	249.993	299.989	349.985
運行距離誤差(A-B)	-0.005	-0.007	-0.011	-0.015
指令位置(A)	400	450	500	
運行距離(B)	399.983	449.981	499.984	
運行距離誤差(A-B)	-0.017	-0.019	-0.016	

把測試資料作為曲線圖就成為圖2。

定位誤差(A-B)表示為實際運行距離·(A-B)曲線的趨勢線為代表運行距離。基準運行距離與代表運行距離之差就是代表運行距離誤差。

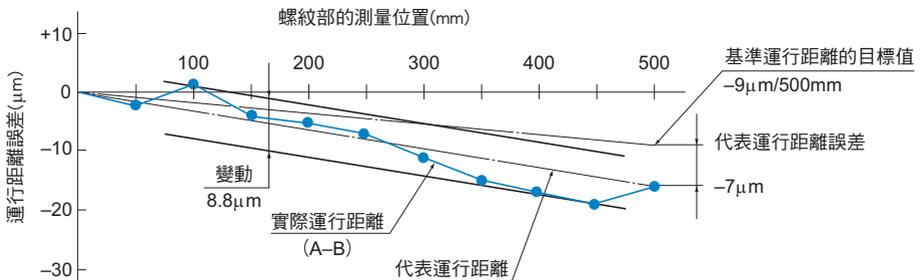


圖2 運行距離誤差的測試資料

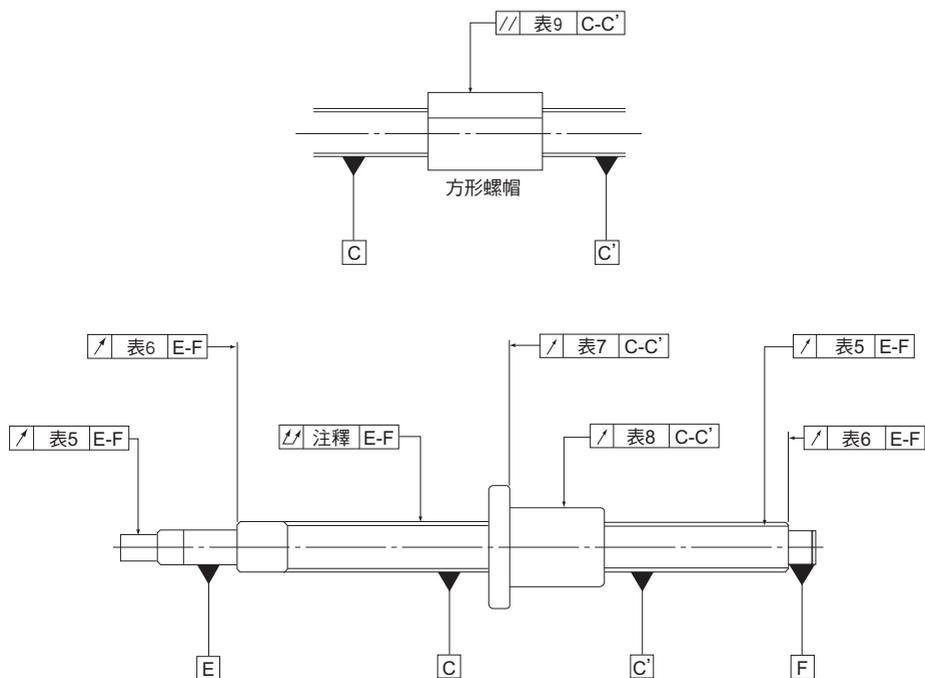
〔測量結果〕

代表運行距離誤差:  $-7\mu\text{m}$

變動:  $8.8\mu\text{m}$

## 安裝部的精度

滾珠螺桿的安裝部精度以JIS規格JIS B 1192 ( ISO 3408 ) 為基準。



注)對於螺桿軸支撐部軸線，螺紋部外徑的半徑方向全振擺容許值請參照JIS B 1192 ( ISO 3408 )。

圖3 滾珠螺桿安裝部的精度

## 【安裝部的精度規格】

精密滾珠螺桿的安裝部精度規格如表5～表9所示。

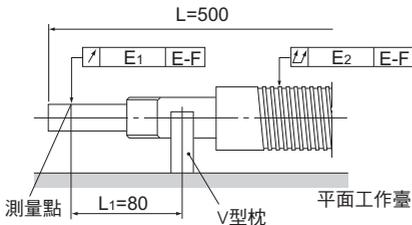
表5 對於螺桿軸支撐部軸線・螺紋溝槽面的半徑方向  
圓周振擺和零件安裝部的半徑方向圓周振擺容許值

單位:  $\mu\text{m}$

螺桿軸外徑(mm)		振擺(最大)					
以上	以下	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	8	3	5	7	8	10	14
8	12	4	5	7	8	11	14
12	20	4	6	8	9	12	14
20	32	5	7	9	10	13	20
32	50	6	8	10	12	15	20
50	80	7	9	11	13	17	20
80	100	—	10	12	15	20	30

注)這個項目的測定,包括螺桿軸軸徑的振擺影響。因此,有必要根據螺桿軸總長度、支撐點及測試點的距離之比,從螺桿軸軸線的全偏差來算出其修正值,加到上表之中。

例:DIK2005-6RRGO+500LC5型



$$E_1 = e + \Delta e$$

$e$  : 表5的標準值(0.012)

$\Delta e$  : 修正值

$$\Delta e = \frac{L_1}{L} \times E_2$$

$$= \frac{80}{500} \times 0.06$$

$$= 0.01$$

$L$  : 螺桿軸總長度

$L_1$  : 支點與測定點的距離

$E_2$  : 螺桿軸軸中心線的半徑方向全振擺(0.06)

$$E_1 = 0.012 + 0.01$$

$$= 0.022$$

注)對於螺桿軸支撐部軸線・螺紋部外徑的半徑方向全振擺容許值請參照JIS B 1192 (ISO 3408)。

表6 螺桿軸的支撐部端面對支撐部軸線的圓周振擺容許值

單位:  $\mu\text{m}$ 

螺桿軸外徑(mm)		圓周振擺容許值(最大)					
以上	以下	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	8	2	3	3	4	5	7
8	12	2	3	3	4	5	7
12	20	2	3	3	4	5	7
20	32	2	3	3	4	5	7
32	50	2	3	3	4	5	8
50	80	3	4	4	5	7	10
80	100	—	4	5	6	8	11

表7 螺桿軸的法蘭安裝面對軸線的圓周振擺容許值

單位:  $\mu\text{m}$ 

螺帽直徑(mm)		圓周振擺容許值(最大)					
以上	以下	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	20	5	6	7	8	10	14
20	32	5	6	7	8	10	14
32	50	6	7	8	8	11	18
50	80	7	8	9	10	13	18
80	125	7	9	10	12	15	20
125	160	8	10	11	13	17	20
160	200	—	11	12	14	18	25

表8 螺桿軸的螺帽外面對軸線的

半徑方向圓周振擺容許值

單位:  $\mu\text{m}$ 

螺帽直徑(mm)		圓周振擺容許值					
以上	以下	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	20	5	6	7	9	12	20
20	32	6	7	8	10	12	20
32	50	7	8	10	12	15	30
50	80	8	10	12	15	19	30
80	125	9	12	16	20	27	40
125	160	10	13	17	22	30	40
160	200	—	16	20	25	34	50

表9 螺桿軸的螺帽外面(平面型安裝面)對軸線的

平行度容許值

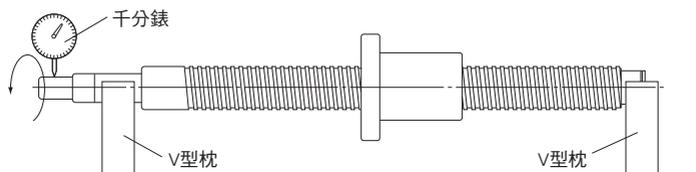
單位:  $\mu\text{m}$ 

安裝基準長度(mm)		平行度容許值					
以上	以下	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	50	5	6	7	8	10	17
50	100	7	8	9	10	13	17
100	200	—	10	11	13	17	30

## 【安裝部精度測試方法】

### ● 零件安裝部對螺桿軸支撐部軸線的半徑方向圓周偏差(參閱B15-23上的表5)

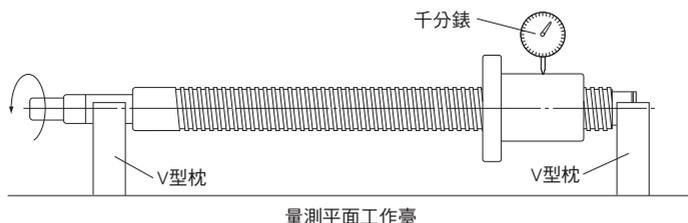
用V型枕支撐螺桿軸的支撐部。讓測頭接觸安裝部的外徑,使螺桿旋轉1周時,用千分錶測其擺動的最大差值。



量測平面工作臺

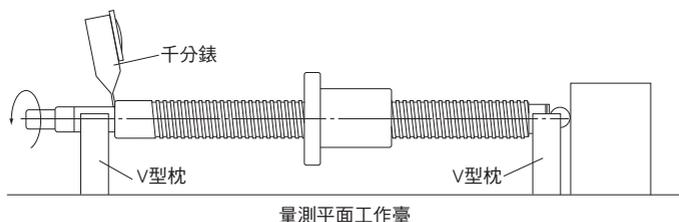
### ●螺紋溝槽面對螺桿軸支撐部軸線的半徑方向圓周偏差 (參閱圖15-23上的表5)

用V型枕支撐螺桿軸的支撐部。讓測頭接觸螺帽的外徑，在不讓螺帽轉動，而讓螺桿軸旋轉一周時，用千分錶測其擺動的最大差值。



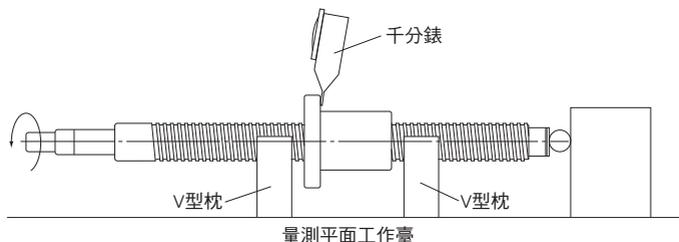
### ●螺桿軸的支撐部端面對支撐部軸線的圓周振擺 (參閱圖15-24上的表6)

用V型枕支撐螺桿軸的支撐部。讓測頭接觸螺桿軸支撐部的端面，讓螺桿軸旋轉一周時，用千分錶測其擺動的最大差值。



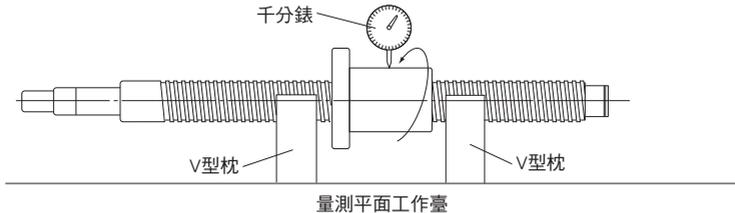
### ●螺桿軸的法蘭安裝面對軸線的圓周振擺 (參閱圖15-24上的表7)

在螺帽旁邊用V型枕支撐螺桿軸螺紋部外徑。讓測頭接觸螺帽法蘭的端面，讓螺桿軸和螺帽同時旋轉一周時，用千分錶測其擺動的最大差值。



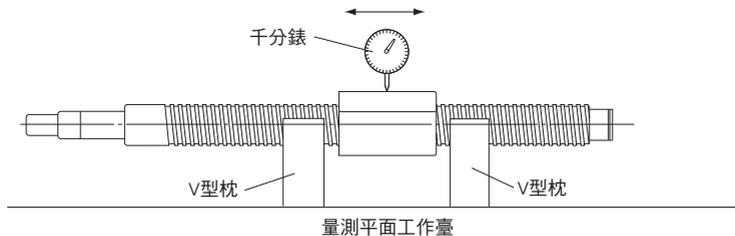
### ●螺帽外圓面對螺桿軸軸線的半徑方向圓周偏差 (參閱B15-24上的表8)

在螺帽旁邊用V型枕支撐螺桿軸螺紋部外徑。讓測頭接觸螺帽的外徑，在不讓螺桿軸轉動，而讓螺帽旋轉一周時，用千分錶測其擺動的最大差值。



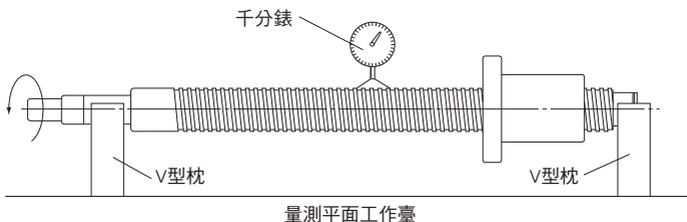
### ●螺帽外圓面 (平面型安裝面) 對螺桿軸軸線的平行度 (參閱B15-24上的表9)

在螺帽旁邊用V型枕支撐螺桿軸螺紋部外徑。讓測頭接觸螺帽外圓面 (平面型安裝面)，讓千分錶與螺桿軸平行移動時，測其擺動的最大差值。



### ●對於螺桿軸支撐部軸線，螺桿部外徑的半徑方向全偏擺

用V型枕支撐螺桿軸的支撐部。讓測頭接觸螺桿軸的外徑，螺桿軸旋轉一周時，用千分錶在軸方向數個地方，測其擺動，取其最大值。



注)對於螺桿軸支撐部軸線，螺紋部外徑的半徑方向全振擺容許值請參照JIS B 1192 (ISO 3408)。

## 軸向間隙

### 【精密滾珠螺桿的軸向間隙】

表10表示精密滾珠螺桿的軸向間隙。如果製作長度超過表11中的值時，一部分按負間隙（預壓狀態）製造。

有關於滾珠保持器型精密滾珠螺桿的軸向間隙請參考圖15-74～圖15-111所示。

表10 精密滾珠螺桿的軸向間隙

單位:mm

間隙標識	G0	GT	G1	G2	G3
軸向間隙	0以下	0~0.005	0~0.01	0~0.02	0~0.05

表11 精密滾珠螺桿軸向間隙/精度等級與最大製作長度

單位:mm

螺桿軸外徑	GT間隙				G1間隙				G2間隙						
	C0	C1	C2·C3	C5	C0	C1	C2·C3	C5	C0	C1	C2	C3	C5	C7	
4·6	80	80	80	100	80	80	80	100	80	80	80	80	100	120	
8	230	250	250	200	230	250	250	250	230	250	250	250	300	300	
10	250	250	250	200	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	
12·13	440	500	500	400	440	500	500	500	440	500	630	680	600	500	
14	500	500	500	400	500	500	500	500	530	620	700	700	600	500	
15	500	500	500	400	500	500	500	500	570	670	700	700	600	500	
16	500	500	500	400	500	500	500	500	620	700	700	700	600	500	
18	720	800	800	700	720	800	800	700	720	840	1000	1000	1000	1000	
20	800	800	800	700	800	800	800	700	820	950	1000	1000	1000	1000	
25	800	800	800	700	800	800	800	700	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
28	900	900	900	800	1100	1100	1100	900	1300	1400	1400	1400	1200	1200	
30·32	900	900	900	800	1100	1100	1100	900	1400	1400	1400	1400	1200	1200	
36·40·45	1000	1000	1000	800	1300	1300	1300	1000	2000	2000	2000	2000	1500	1500	
50·55·63·70	1200	1200	1200	1000	1600	1600	1600	1300	2000	2500	2500	2500	2000	2000	
80·100	—	—	—	—	1800	1800	1800	1500	2000	4000	4000	4000	3000	3000	

\* 製造精度等級C7的滾珠螺桿時，GT間隙或G1間隙的一部分按負值計算。

使用HBN-V/HBN-K (KA)/HBN型、SBKH型，則無法對應G0間隙。

若小型滾珠螺桿要（軸外徑 $\phi$ 14mm以下）製作G0間隙，則無法對應C7的精度等級。

關於軸端未完成品精密滾珠螺桿，請參閱圖15-142的對照表。

### 【轉造滾珠螺桿的軸向間隙】

轉造滾珠螺桿的軸向間隙如表12所示。

表12 轉造滾珠螺桿的軸向間隙

單位:mm

螺桿軸外徑	軸向間隙 (最大)
6~12	0.05
14~28	0.1
30~32	0.14
36~45	0.17
50	0.2

## 預壓

施加預壓是為了消除軸向間隙，並進一步使軸向負荷產生的變位量為最小。  
在進行高精度定位時，施加預壓是一般的手段。

### 【施加預壓後滾珠螺桿的剛性】

如對滾珠螺桿施加預壓，螺帽部的剛性就會增加。

圖4表示施加預壓與沒施加預壓的滾珠螺桿的彈性變位曲線。

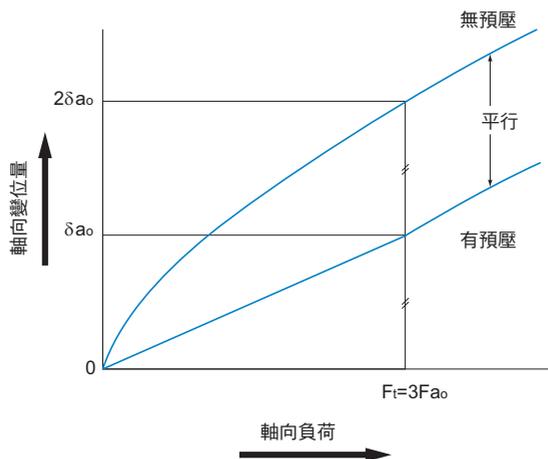


圖4 滾珠螺桿的彈性變位曲線

圖5表示單螺帽型的滾珠螺桿。

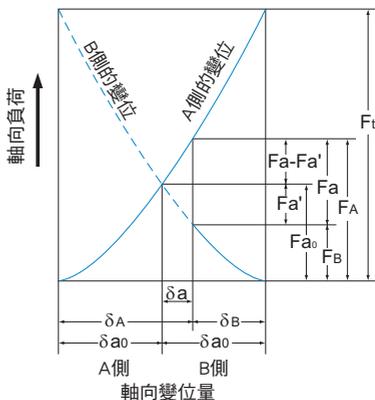
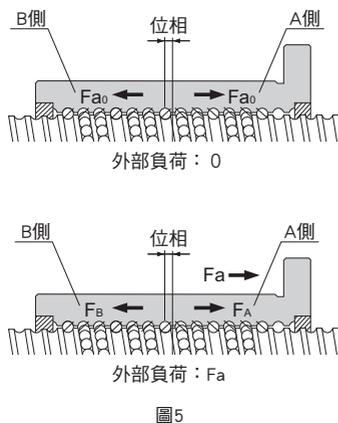


圖5

圖6

A與B側是變更螺帽中央的溝槽間距，作位相差，施加了預壓負荷（ $F_{a0}$ ）。由於預壓負荷，A與B側各自產生 $\delta_{a0}$ 的彈性變位。在這種狀態下，如果從外部作用軸向負荷（ $F_a$ ），則A與B側的變位量如下。

$$\delta_A = \delta_{a0} + \delta a \quad \delta_B = \delta_{a0} - \delta a$$

即A與B側承受的負荷是如下。

$$F_A = F_{a0} + (F_a - F_a') \quad F_B = F_{a0} - F_a'$$

因此，由於施加了預壓，加在A側上的負荷等於 $F_a - F_a'$ 。也就是說，與沒有施加預壓時的負荷相比，減少了 $F_a'$ 的負荷量，從而變位量變小了。

直到B側由於預壓而產生的彈性位移量（ $\delta_{a0}$ ）為0時，預壓一直產生效果。

那麼，究竟彈性變位量變小多少呢？因沒有施加預壓的滾珠螺桿的軸向負荷與彈性變位量的關係可由 $\delta_{a0} \propto F_a^{2/3}$ 來表示，從圖6可建立以下算式。

$$\delta_{a0} = K F_{a0}^{2/3} \quad (K: \text{定數})$$

$$2\delta_{a0} = K F_t^{2/3}$$

$$\left(\frac{F_t}{F_{a0}}\right)^{2/3} = 2 \quad F_t = 2^{3/2} \times F_{a0} = 2.8F_{a0} \doteq 3F_{a0}$$

因此，施加了預壓的滾珠螺桿，如果從外部作用約3倍預壓負荷的軸向負荷（ $F_t$ ），其變位量則變為 $\delta_{a0}$ 。結果，施加了預壓的滾珠螺桿是沒有施加預壓滾珠螺桿變位量（ $2\delta_{a0}$ ）的一半。

如上所述，預壓所產生的效果，可維持到預壓負荷的約3倍。因而適當的預壓負荷為最大軸向負荷的1/3。但是，請注意預壓負荷過大時，對壽命、發熱等會產生惡劣影響。因此，請以軸方向基本額定動負荷（ $C_a$ ）的10%作為最大預壓負荷的基準。

## 【預壓扭力】

滾珠螺桿的預壓扭力以JIS規格JIS B 1192 (ISO 3408) 為基準進行管理。

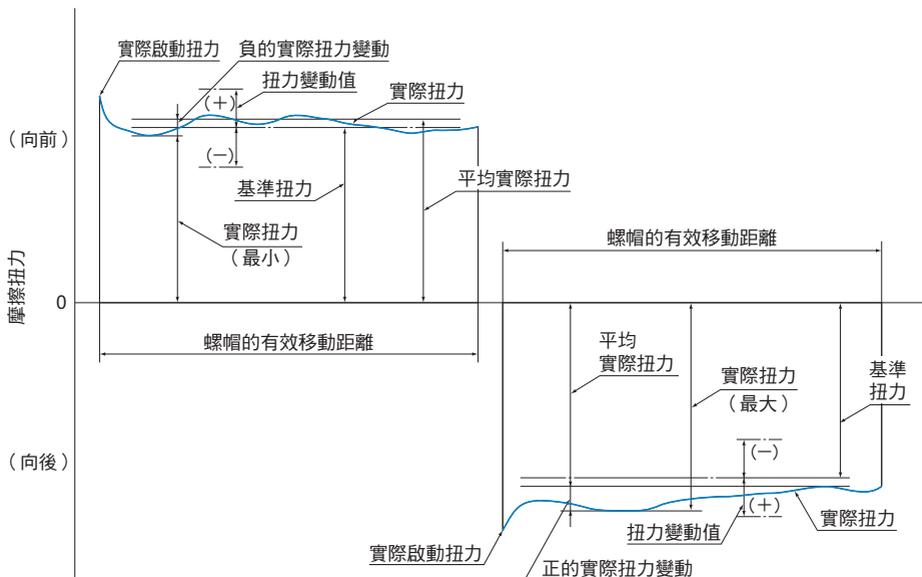


圖7 預壓扭力用語

### ●預壓動扭力

對施加了一定預壓的滾珠螺桿，在外部不作用負荷的狀態下，讓螺桿軸連續旋轉時所必須的扭力。

### ●實際扭力

對滾珠螺桿進行實際測試的預壓動扭力。

### ●扭力變動值

作為目標值設定了預壓動扭力的變動值。對基準扭力取正或負值。

### ●扭力變動率

對於基準扭力的扭力變動值的比率。

### ●基準扭力

作為目標設定的預壓動扭力。

### ●基準扭力的計算

施加了預壓的滾珠螺桿的基準扭力根據以下(4)式計算。

$$T_p = 0.05 (\tan\beta)^{-0.5} \frac{F_{a0} \cdot Ph}{2\pi} \dots\dots(4)$$

$T_p$  : 基準扭力 (N-mm)

$\beta$  : 導程角

$F_{a0}$  : 承受預壓 (N)

$Ph$  : 導程 (mm)

## 預壓扭力計算例

對滾珠螺桿BIF4010-10G0+1500LC3型,其螺紋部長度1300mm(軸徑40mm、滾珠中心直徑41.75mm、導程10mm),施加預壓負荷3000N時,滾珠螺桿的預壓扭力按以下的順序計算。

### ■基準扭力的計算

$\beta$  : 導程角

$$\tan\beta = \frac{\text{導程}}{\pi \times \text{滾珠中心直徑}} = \frac{10}{\pi \times 41.75} = 0.0762$$

$F_{a0}$  : 承受預壓=3000N

$Ph$  : 導程=10mm

$$T_p = 0.05 (\tan\beta)^{-0.5} \frac{F_{a0} \cdot Ph}{2\pi} = 0.05 (0.0762)^{-0.5} \frac{3000 \times 10}{2\pi} = 865N \cdot mm$$

### ■扭力變動值的計算

$$\frac{\text{螺紋有效長度}}{\text{螺桿軸外徑}} = \frac{1300}{40} = 32.5 \leq 40$$

因此,表13的基準扭力在600N·mm和1000N·mm之間,有效螺紋長度在4000mm以下的 $\leq 40$ ,精度為C3,所以扭力變動率為 $\pm 30\%$ 。

因此,扭力變動率如下計算。

$$865 \times (1 \pm 0.3) = 606 \text{ N}\cdot\text{mm} \text{ 至 } 1125 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

### ■結果

基準扭力 : 865 N·mm

扭力變動值 : 606 N·mm~1125 N·mm

表13 扭力變動值的容許範圍

基準扭力 N·mm		螺紋有效長度												
		4000mm以下										超過4,000mm, 10,000mm以下		
		$\frac{\text{螺紋長度}}{\text{螺桿軸外徑}} \leq 40$					$40 < \frac{\text{螺紋長度}}{\text{螺桿軸外徑}} < 60$					—		
		精度等級					精度等級					精度等級		
以上	以下	C0	C1	C3	C5	C7	C0	C1	C3	C5	C7	C3	C5	C7
200	400	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 50\%$	—	$\pm 40\%$	$\pm 40\%$	$\pm 50\%$	$\pm 60\%$	—	—	—	—
400	600	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	—	$\pm 35\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 45\%$	—	—	—	—
600	1000	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 30\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 45\%$	$\pm 40\%$	$\pm 45\%$	$\pm 50\%$
1000	2500	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 25\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 45\%$
2500	6300	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$
6300	10000	—	—	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$	—	—	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 35\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$