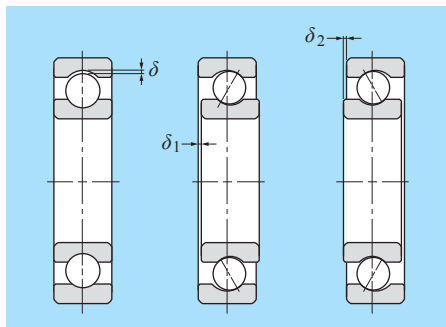


8. 軸受内部すきまと予圧

8.1 軸受内部すきま

軸受内部すきまとは、軸またはハウジングに取付ける前の状態で、図 8.1 に示すように内輪または外輪のいずれかを固定して、固定されていない軌道輪をラジアル方向またはアキシャル方向に移動させたときの軌道輪の移動量をいう。移動させる方向によって、それぞれラジアル内部すきままたはアキシャル内部すきまと呼ぶ。

軸受内部すきまを測定する場合は、測定値を安定させるために軌道輪に測定荷重を加える。このため、すきまの測定値（測定すきま）は、測定荷重による弾性変形量だけ、真のすきまの値より大きくなる。真の軸受内部すきまはこの弾性変形によるすきまの増加量を表 8.1 により補正しなければならない。ころ軸受では、この弾性変形量は無視できる値である。軸受形式別に軸受内部すきまの値を表 8.8～表 8.16 に示す。



ラジアル内部すきま = δ アキシャル内部すきま = $\delta_1 + \delta_2$

図 8.1 軸受内部すきま

8.2 軸受内部すきまの選定

軸受の運転状態でのすきま（運転すきま）は、初期の軸受内部すきまより、はめあいおよび内輪と外輪の温度差によって、一般には、小さくなる。この運転すきまは軸受の寿命、発熱、振動あるいは音響にも影響するので、最適に設定する必要がある。

8.2.1 軸受内部すきまの選定基準

理論的には、軸受の定常運転状態での運転すきまが、わずかに負であるとき、軸受寿命は最大となるが、実際にこの最適条件を常に保つことは困難である。何らかの使用条件の変動によって負のすきま量が大きくなると、著しい寿命低下と発熱を招くので、一般には、**運転すきまが、零よりわずかに大きくなるように初期の軸受内部すきまを選定**する。通常の使用条件、すなわち、普通荷重のはめあいをを用い、回転速度、運転温度などが通常である場合には、普通すきまを選定することによって適切な運転すきまが得られる。

表 8.2 に CN（普通）すきま以外の内部すきまを適用する例を示す。

すきまと寿命との関係については、「3.8 すきまと寿命」項をご参照ください。

表 8.1 測定荷重によるラジアル内部すきま補正量（深溝玉軸受） 単位： μm

呼び軸受内径 d mm を超え 以下	測定荷重 N	内部すきま補正量					
		C2	CN	C3	C4	C5	
10(を含む)	18	24.5	3~4	4	4	4	4
18	50	49	4~5	5	6	6	6
50	200	147	6~8	8	9	9	9

表 8.2 CN（普通）すきま以外のすきま適用例

使用条件	適用例	選定内部すきま
重荷重、衝撃荷重を 負荷し、しめしろが 大きい。	鉄道車両用車軸 振動スクリーン	C3 C3, C4
方向不定荷重を負荷し、 内輪・外輪ともにしまりばめ にする。	鉄道車両トラクション モータ トラクタ・終減速機	C4 C4
軸または内輪が加熱される。	製紙機械・ドライヤ 圧延機テーブルローラ	C3, C4 C3
回転時の振動・騒音を 低くする。	小型電動機	C2, CM
軸の振れを抑えるため、 すきまを調整する。	工作機械主軸（複列円筒ころ軸受）	C9NA, C0NA
内輪・外輪ともにすきまばめ	圧延機ロールネック	C2

8.2.2 運転すきまの計算

軸受の運転すきまは、初期の軸受内部すきまと、はめあいによる内部すきま減少量および内輪と外輪の温度差による内部すきま減少量から求めることができる。

$$\Delta_e = \Delta_0 - (\delta_f + \delta_t) = \Delta_f - \delta_t \dots\dots\dots (8.1)$$

ここで、

- Δ_e : 運転すきま mm
- Δ_0 : 軸受内部すきま（初期） mm
- Δ_f : 残留すきま（組込み後のすきま） mm
- δ_f : はめあいによる内部すきまの減少量 mm
- δ_t : 内輪と外輪の温度差による内部すきまの減少量 mm

(1) はめあいによるすきまの減少

しめしろを与えて軸受を軸またはハウジングに取付けると、内輪は膨張し外輪は収縮するので、**軸受の内部すきまは減少する**。内輪または外輪の膨張あるいは収縮量は、軸受の形式、軸またはハウジングの形状、寸法および材料によって異なるが、近似的には**有効しめしろの 70～90%**である。

$$\delta_f = (0.70 \sim 0.90) \Delta d_{\text{eff}} \dots\dots\dots (8.2)$$

ここで、

- δ_f : はめあいによる内部すきまの減少量 mm
- Δd_{eff} : 有効しめしろ mm

(2) 残留すきま

各軸受ごとの膨張率、収縮率を用いてはめあいによる内部すきまの減少量を計算した場合、残留すきまは以下の式で計算を行う。

①分布を考慮した計算

初期すきま、軸受内輪内径寸法、軸受外輪外径寸法、軸外径寸法、ハウジング内径寸法が正規分布に従うと仮定し、残留すきまをある不良率の範囲として求めるのが一般的である。

各寸法とすきまが正規分布に従うとすると、不良率 0.26% の時（規格範囲 = $\pm 3\sigma$ ）残留すきま Δ_f は次式で求めることができる。

$$\Delta_f = \Delta_{f\text{m}} \pm 3\sigma_{\Delta f} \dots\dots\dots (8.3)$$

ここで、

- Δ_f : 残留すきま mm
- $\Delta_{f\text{m}}$: 残留すきまの平均値 mm
- $\sigma_{\Delta f}$: 残留すきまの標準偏差

残留すきまの平均値と標準偏差については、表 8.3 および表 8.4 をご参照ください。

②直和による計算

使用条件が厳しく、最悪状態で計算する場合、各寸法の最大値、最小値を用いて直和計算を行う。

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{f\text{max}} &= \Delta_{o\text{max}} - \lambda_i \Delta_{d\text{min}} - \lambda_o \Delta_{D\text{min}} \\ \Delta_{f\text{min}} &= \Delta_{o\text{min}} - \lambda_i \Delta_{d\text{max}} - \lambda_o \Delta_{D\text{max}} \end{aligned} \right\} (8.4)$$

ここで、

- $\Delta_{f\text{max}}$ $\Delta_{f\text{min}}$: 残留すきまの最大値、最小値 mm
- $\Delta_{o\text{max}}$ $\Delta_{o\text{min}}$: 初期すきまの最大値、最小値 mm
- $\Delta_{d\text{max}}$ $\Delta_{d\text{min}}$: 内輪しめしろの最大値、最小値 mm
- $\Delta_{D\text{max}}$ $\Delta_{D\text{min}}$: 外輪しめしろの最大値、最小値 mm
- λ_i λ_o : 内輪膨張率、外輪収縮率（表 8.5 参照）

● 軸受内部すきまと予圧

表 8.3 残留すきまの平均値と標準偏差

内輪のはめあい条件	外輪のはめあい条件	Δ_{fm} (残留すきまの平均値)	$\sigma_{\Delta f}$ (残留すきまの標準偏差)
しまりばめ	すきまばめ	$\Delta_{0m} - \lambda_1 \cdot \Delta_{dm}$	$\sqrt{\sigma_{\Delta 0}^2 + \lambda_1^2 \cdot \sigma_{\Delta d}^2}$
	しまりばめ	$\Delta_{0m} - \lambda_1 \cdot \Delta_{dm} - \lambda_0 \cdot \Delta_{Dm}$	$\sqrt{\sigma_{\Delta 0}^2 + \lambda_1^2 \cdot \sigma_{\Delta d}^2 + \lambda_0^2 \cdot \sigma_{\Delta D}^2}$
すきまばめ	すきまばめ	Δ_{0m}	$\sigma_{\Delta 0}$
	しまりばめ	$\Delta_{0m} - \lambda_0 \cdot \Delta_{Dm}$	$\sqrt{\sigma_{\Delta 0}^2 + \lambda_0^2 \cdot \sigma_{\Delta D}^2}$

表 8.4 計算に用いる記号および計算式

		平均値	標準偏差	規格範囲
軸径	D_s	D_{sm}	$\sigma_{D_s} = \frac{R_{D_s}}{6}$	R_{D_s}
内輪内径	d	d_m	$\sigma_d = \frac{R_d}{6}$	R_d
内輪しめしろ	Δ_d	$\Delta_{dm} = D_{sm} - d_m$	$\sigma_{\Delta d} = \sqrt{\sigma_{D_s}^2 + \sigma_d^2}$	
ハウジング内径	d_h	d_{hm}	$\sigma_{d_h} = \frac{R_{d_h}}{6}$	R_{d_h}
外輪外径	D	D_m	$\sigma_D = \frac{R_D}{6}$	R_D
外輪しめしろ	Δ_D	$\Delta_{Dm} = D_m - d_{hm}$	$\sigma_{\Delta D} = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_{d_h}^2}$	
初期すきま	Δ_0	Δ_{0m}	$\sigma_{\Delta 0} = \frac{R_{\Delta 0}}{6}$	$R_{\Delta 0}$
残留すきま	Δ_f	Δ_{fm}	$\sigma_{\Delta f}$	
内輪膨張率	λ_1	表8.5 参照		
外輪収縮率	λ_0			

備考 内輪と軸あるいは、外輪とハウジングの温度差、線膨張係数の差を考慮する場合、膨張・収縮後の軸受内輪内径寸法、軸受外輪外径寸法、軸外径寸法、ハウジング内径寸法を先に求めて、有効しめしろと軌道輪の膨張率を算出する必要がある。

● 軸受内部すきまと予圧

表 8.5 軌道径の膨張率、収縮率

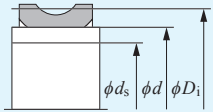
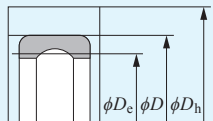
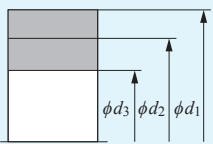
はめあい条件	計算項目	計算式	記号 (単位: mm)
内輪と中実軸のはめあい (内輪と軸ともに鋼製の場合)	内輪の膨張率	$\lambda_1 = \frac{d}{D_i}$	d : 内輪内径または軸径 d_s : 中空軸内径 D_i : 内輪平均軌道径 (表8.7参照)
		$\lambda_1 = \frac{d}{D_i} \cdot \frac{\left\{1 - \left(\frac{d_s}{d}\right)^2\right\}}{1 - \left\{\left(\frac{d}{D_i}\right)^2 \cdot \left(\frac{d_s}{d}\right)^2\right\}}$	
外輪とハウジングのはめあい (外輪とハウジングともに鋼製の場合)	外輪の収縮率	$\lambda_0 = \frac{D_e}{D} \cdot \frac{\left\{1 - \left(\frac{D}{D_h}\right)^2\right\}}{1 - \left\{\left(\frac{D_e}{D}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{D_h}\right)^2\right\}}$	D : 外輪外径またはハウジング内径 D_h : ハウジング外径 D_e : 外輪平均軌道径 (表8.7参照)
		$\lambda_0 = \frac{D_e}{D}$	

表 8.6 2円筒のはめあい (一般式)

計算項目	計算式	記号 (単位: MPa, mm)
外円筒外径膨張率	$\lambda_1 = \frac{E_2 \left(\frac{(d_1^2 + d_2^2)}{(d_1^2 - d_2^2)} + 1 \right)}{E_2 \left\{ \frac{(d_1^2 + d_2^2)}{(d_1^2 - d_2^2)} + \nu_1 \right\} + E_1 \left\{ \frac{(d_2^2 + d_3^2)}{(d_2^2 - d_3^2)} - \nu_2 \right\}} \cdot \frac{d_2}{d_1}$	E_1, E_2 : 外円筒, 内円筒の縦弾性係数 ν_1, ν_2 : 外円筒, 内円筒のポアソン比
内円筒内径の収縮率	$\lambda_2 = \frac{E_1 \left(\frac{(d_2^2 + d_3^2)}{(d_2^2 - d_3^2)} + 1 \right)}{E_2 \left\{ \frac{(d_1^2 + d_2^2)}{(d_1^2 - d_2^2)} + \nu_1 \right\} + E_1 \left\{ \frac{(d_2^2 + d_3^2)}{(d_2^2 - d_3^2)} - \nu_2 \right\}} \cdot \frac{d_3}{d_2}$	

備考 主要な材料の物性値を「13. 軸受材料」項 表 13.6 (A-130) に示す。

表 8.7 平均軌道径 (近似式)

軸受形式		平均軌道径 mm	
		内輪 (D _i)	外輪 (D _o)
玉軸受	全形式	1.05 $\frac{4d+D}{5}$	0.95 $\frac{d+4D}{5}$
	12	1.03 $\frac{3d+D}{4}$	0.97 $\frac{d+2D}{3}$
自動調心玉軸受	13, 22	1.03 $\frac{3d+D}{4}$	0.97 $\frac{d+3D}{4}$
	23	1.03 $\frac{4d+D}{5}$	0.97 $\frac{d+4D}{5}$
円筒ころ軸受 ¹⁾	全形式	1.05 $\frac{3d+D}{5}$	0.98 $\frac{d+3D}{4}$
自動調心ころ軸受	Bタイプ, Cタイプ, 213タイプ	$\frac{2d+D}{3}$	0.97 $\frac{d+4D}{5}$
	ULTAGE® シリーズ	$\frac{3d+D}{4}$	0.98 $\frac{d+5D}{6}$
円すいころ軸受	全形式	$\frac{3d+D}{4}$	$\frac{d+3D}{4}$

注 1) 平均軌道径は両つば付きの場合の値である。

備考 d: 内輪内径 mm D: 外輪外径 mm

(3) 内輪と外輪の温度差による内部すきまの減少量

軸受の運転中は、一般的に、外輪の温度が内輪または転動体の温度より 5 ~ 10 °C 程低くなる。ハウジングからの放熱が大きいとき、または軸が熱源に連なっていたり、中空軸の内部に加熱された流体が流れていたりすると、内輪と外輪の温度差は、さらに、大きくなる。この温度差による内輪と外輪の熱膨張の差だけ内部すきまが減少する。

$$\delta_t = \alpha \cdot \Delta T \cdot D_o \dots\dots\dots (8.5)$$

ここで、

- δ_t : 内輪と外輪の温度差による内部すきまの減少量 mm
- α : 軸受材料の線膨張係数
12.5 × 10⁻⁶ /°C
- ΔT : 内輪と外輪の温度差 °C
- D_o : 外輪の軌道径 mm

外輪の軌道径 D_o は式 (8.6)、式 (8.7) で近似することができる。

玉軸受および自動調心ころ軸受に対して、
D_o = 0.20 (d + 4.0D) …………… (8.6)

ころ軸受 (自動調心ころ軸受を除く) に対して、
D_o = 0.25 (d + 3.0D) …………… (8.7)

d : 軸受内径 mm
D : 軸受外径 mm

ULTAGE® シリーズ軸受については、NTN にご照会ください。

なお、8.2.2 項の計算式は軸受、軸およびハウジングが鋼製である場合に限る。

NTN の Web サイト (<https://www.ntn.co.jp/japan>) に掲載している軸受技術計算ツールを用いることで、「運転すきまの計算 (3σ による)」が可能ですので、ご利用ください。

表 8.8 深溝玉軸受のラジアル内部すきま

単位: μm

呼び軸受内径 d mm を超え 以下	C2		CN		C3		C4		C5	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
— 2.5	0	6	4	11	10	20	—	—	—	—
2.5 6	0	7	2	13	8	23	—	—	—	—
6 10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10 18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18 24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24 30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30 40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40 50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50 65	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
65 80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80 100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
100 120	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
120 140	2	23	18	48	41	81	71	114	105	160
140 160	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
160 180	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
180 200	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
200 225	2	35	25	85	75	140	125	195	175	265
225 250	2	40	30	95	85	160	145	225	205	300
250 280	2	45	35	105	90	170	155	245	225	340
280 315	2	55	40	115	100	190	175	270	245	370
315 355	3	60	45	125	110	210	195	300	275	410
355 400	3	70	55	145	130	240	225	340	315	460
400 450	3	80	60	170	150	270	250	380	350	520
450 500	3	90	70	190	170	300	280	420	390	570
500 560	10	100	80	210	190	330	310	470	440	630
560 630	10	110	90	230	210	360	340	520	490	700

● 軸受内部すきまと予圧

表 8.9 自動調心玉軸受のラジアル内部すきま

呼び軸受内径 d mm	円筒穴軸受										
	C2		CN		C3		C4		C5		
	を超え	以下	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	
2.5	6	1	8	5	15	10	20	15	25	21	33
6	10	2	9	6	17	12	25	19	33	27	42
10	14	2	10	6	19	13	26	21	35	30	48
14	18	3	12	8	21	15	28	23	37	32	50
18	24	4	14	10	23	17	30	25	39	34	52
24	30	5	16	11	24	19	35	29	46	40	58
30	40	6	18	13	29	23	40	34	53	46	66
40	50	6	19	14	31	25	44	37	57	50	71
50	65	7	21	16	36	30	50	45	69	62	88
65	80	8	24	18	40	35	60	54	83	76	108
80	100	9	27	22	48	42	70	64	96	89	124
100	120	10	31	25	56	50	83	75	114	105	145
120	140	10	38	30	68	60	100	90	135	125	175
140	160	15	44	35	80	70	120	110	161	150	210

表 8.10 (1) 組合せアンギュラ玉軸受のラジアル内部すきま
単位：μm

呼び軸受内径 d mm	C1		C2		CN		C3		C4		
	を超え	以下	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	
—	10	3	8	6	12	8	15	15	22	22	30
10	18	3	8	6	12	8	15	15	24	30	40
18	30	3	10	6	12	10	20	20	32	40	55
30	50	3	10	8	14	14	25	25	40	55	75
50	80	3	11	11	17	17	32	32	50	75	95
80	100	3	13	13	22	22	40	40	60	95	120
100	120	3	15	15	30	30	50	50	75	110	140
120	150	3	16	16	33	35	55	55	80	130	170
150	180	3	18	18	35	35	60	60	90	150	200
180	200	3	20	20	40	40	65	65	100	180	240

備考 上表は軸受の接触角の大きさによって下表のように適用する。

接触角記号	標準接触角	適用すきま ²⁾
C	15°	C1, C2
A ¹⁾	30°	C2, CN, C3
B	40°	CN, C3, C4

注 1) 呼び番号には、表示しない。
2) 適用すきま以外についてはNTNにご照会ください。

表 8.10 (2) 複列アンギュラ玉軸受のラジアル内部すきま
単位：μm

呼び軸受内径 d mm	C2		CN		C3		C4		C5		
	を超え	以下	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	
10のみ	0	10	5	15	10	21	16	28	24	36	
10	18	1	11	6	16	12	23	19	31	28	40
18	24	1	11	6	16	13	24	21	33	31	43
24	30	1	13	6	19	13	26	21	35	31	45
30	40	2	15	7	22	15	30	24	39	35	50
40	50	2	15	9	24	17	32	28	45	40	57
50	65	0	15	7	24	16	33	28	48	41	61
65	80	1	17	11	31	21	42	34	56	50	74
80	100	3	20	13	36	25	49	40	65	58	67

表 8.11 電動機用軸受のラジアル内部すきま

呼び軸受内径 d mm	CM				
	深溝玉軸受		円筒ころ軸受		
	を超え	以下	最小	最大	
10(を含む)	18	4	11	—	—
18	24	5	12	—	—
24	30	5	12	15	30
30	40	9	17	15	30
40	50	9	17	20	35
50	65	12	22	25	40
65	80	12	22	30	45
80	100	18	30	35	55
100	120	18	30	35	60
120	140	24	38	40	65
140	160	24	38	50	80
160	180	—	—	60	90
180	200	—	—	65	100

備考 1) すきま記号“CM”を軸受呼び番号の後に付ける。
例：6205 ZZ CM

2) 円筒ころ軸受は非互換性すきまである。

● 軸受内部すきまと予圧

単位：μm

テーパ穴軸受										呼び軸受内径 d mm	
C2		CN		C3		C4		C5		を超え	以下
最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5	6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	10
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	14
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	18
7	17	13	26	20	33	28	42	37	55	18	24
9	20	15	28	23	39	33	50	44	62	24	30
12	24	19	35	29	46	40	59	52	72	30	40
14	27	22	39	33	52	45	65	58	79	40	50
18	32	27	47	41	61	56	80	73	99	50	65
23	39	35	57	50	75	69	98	91	123	65	80
29	47	42	68	62	90	84	116	109	144	80	100
35	56	50	81	75	108	100	139	130	170	100	120
40	68	60	98	90	130	120	165	155	205	120	140
45	74	65	110	100	150	140	191	180	240	140	160

表 8.12 円筒ころ軸受（円筒穴）の互換性ラジアル内部すきま

単位：μm

呼び軸受内径 d mm	C2		CN		C3		C4		C5		
	を超え	以下	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	
—	10	0	25	20	45	35	60	50	75	—	—
10	24	0	25	20	45	35	60	50	75	65	90
24	30	0	25	20	45	35	60	50	75	70	95
30	40	5	30	25	50	45	70	60	85	80	105
40	50	5	35	30	60	50	80	70	100	95	125
50	65	10	40	40	70	60	90	80	110	110	140
65	80	10	45	40	75	65	100	90	125	130	165
80	100	15	50	50	85	75	110	105	140	155	190
100	120	15	55	50	90	85	125	125	165	180	220
120	140	15	60	60	105	100	145	145	190	200	245
140	160	20	70	70	120	115	165	165	215	225	275
160	180	25	75	75	125	120	170	170	220	250	300
180	200	35	90	90	145	140	195	195	250	275	330
200	225	45	105	105	165	160	220	220	280	305	365
225	250	45	110	110	175	170	235	235	300	330	395
250	280	55	125	125	195	190	260	260	330	370	440
280	315	55	130	130	205	200	275	275	350	410	485
315	355	65	145	145	225	225	305	305	385	455	535
355	400	100	190	190	280	280	370	370	460	510	600
400	450	110	210	210	310	310	410	410	510	565	665
450	500	110	220	220	330	330	440	440	550	625	735

● 軸受内部すきまと予圧

表 8.13 円筒ころ軸受の非互換性ラジアル内部すきま

呼び軸受内径 d mm		円筒穴軸受											
		C1NA		C2NA		NA ¹⁾		C3NA		C4NA		C5NA	
を 超え	以下	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
—	10	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	—	—
10	18	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
18	24	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
24	30	5	10	10	25	25	35	40	50	50	60	70	80
30	40	5	12	12	25	25	40	45	55	55	70	80	95
40	50	5	15	15	30	30	45	50	65	65	80	95	110
50	65	5	15	15	35	35	50	55	75	75	90	110	130
65	80	10	20	20	40	40	60	70	90	90	110	130	150
80	100	10	25	25	45	45	70	80	105	105	125	155	180
100	120	10	25	25	50	50	80	95	120	120	145	180	205
120	140	15	30	30	60	60	90	105	135	135	160	200	230
140	160	15	35	35	65	65	100	115	150	150	180	225	260
160	180	15	35	35	75	75	110	125	165	165	200	250	285
180	200	20	40	40	80	80	120	140	180	180	220	275	315
200	225	20	45	45	90	90	135	155	200	200	240	305	350
225	250	25	50	50	100	100	150	170	215	215	265	330	380
250	280	25	55	55	110	110	165	185	240	240	295	370	420
280	315	30	60	60	120	120	180	205	265	265	325	410	470
315	355	30	65	65	135	135	200	225	295	295	360	455	520
355	400	35	75	75	150	150	225	255	330	330	405	510	585
400	450	45	85	85	170	170	255	285	370	370	455	565	650
450	500	50	95	95	190	190	285	315	410	410	505	625	720

注 1) CN すきまの記号は“NA”である。例：NU310NA

表 8.14 複列・組合せ円すいころ軸受（メートル系）のアクシアル内部すきま

呼び軸受内径 d mm		接触角 $\alpha \leq 27^\circ$ ($e \leq 0.76$)							
		C2		CN		C3		C4	
を 超え	以下	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
18	24	25	75	75	125	125	170	170	220
24	30	25	75	75	125	145	195	195	245
30	40	25	95	95	165	165	235	210	280
40	50	20	85	85	150	175	240	240	305
50	65	20	85	110	175	195	260	280	350
65	80	20	110	130	220	240	325	325	410
80	100	45	150	150	260	280	390	390	500
100	120	45	175	175	305	350	480	455	585
120	140	45	175	175	305	390	520	500	630
140	160	60	200	200	340	400	540	520	660
160	180	80	220	240	380	440	580	600	740
180	200	100	260	260	420	500	660	660	820
200	225	120	300	300	480	560	740	720	900
225	250	160	360	360	560	620	820	820	1 020
250	280	180	400	400	620	700	920	920	1 140
280	315	200	440	440	680	780	1 020	1 020	1 260
315	355	220	480	500	760	860	1 120	1 120	1 380
355	400	260	560	560	860	980	1 280	1 280	1 580
400	500	300	600	620	920	1 100	1 400	1 440	1 740
500	560	350	650	750	1 050	1 250	1 550	1 650	1 950
560	630	400	700	850	1 150	1 400	1 700	1 850	2 150

備考 1 この表はカタログに記載した軸受に適用し、記載以外の軸受およびインチ系軸受についてはNTNにご照会ください。
 2 アクシアル内部すきま (Δ_a) とラジアル内部すきま (Δ_r) の関係は、 $\Delta_r = 0.667 \times e \times \Delta_a$ で求めることができる。
 e : 定数 (寸法表参照)
 3 軸受系列 329X, 330, 322C, 323C, 303C, T4CB についてはこの表を適用しない。

● 軸受内部すきまと予圧

単位：μm

テーパ穴軸受										呼び軸受内径 d mm			
C9NA ²⁾		C0NA ²⁾		C1NA		C2NA		NA ¹⁾				C3NA	
最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	を 超え	以下
5	5	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	—	10
5	10	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	10	18
5	10	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	18	24
5	10	10	20	10	25	25	35	40	50	50	60	24	30
5	12	10	20	12	25	25	40	45	55	55	70	30	40
5	15	10	20	15	30	30	45	50	65	65	80	40	50
5	15	10	20	15	35	35	50	55	75	75	90	50	65
10	20	15	30	20	40	40	60	70	90	90	110	65	80
10	25	20	35	25	45	45	70	80	105	105	125	80	100
10	25	20	35	25	50	50	80	95	120	120	145	100	120
15	30	25	40	30	60	60	90	105	135	135	160	120	140
15	35	30	45	35	65	65	100	115	150	150	180	140	160
15	35	30	45	35	75	75	110	125	165	165	200	160	180
20	40	30	50	40	80	80	120	140	180	180	220	180	200
20	45	35	55	45	90	90	135	155	200	200	240	200	225
25	50	40	65	50	100	100	150	170	215	215	265	225	250
25	55	40	65	55	110	110	165	185	240	240	295	250	280
30	60	45	75	60	120	120	180	205	265	265	325	280	315
30	65	45	75	65	135	135	200	225	295	295	360	315	355
35	75	50	90	75	150	150	225	255	330	330	405	355	400
45	85	60	100	85	170	170	255	285	370	370	455	400	450
50	95	70	115	95	190	190	285	315	410	410	505	450	500

注 2) C9NA, C0NA および C1NA すきまは JIS 5 級以上の軸受に適用する。

単位：μm

接触角 $\alpha > 27^\circ$ ($e > 0.76$)										呼び軸受内径 d mm	
C2		CN		C3		C4					
最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	を 超え	以下
10	30	30	50	50	70	70	90	70	90	18	24
10	30	30	50	60	80	80	100	80	100	24	30
10	40	40	70	70	100	90	120	90	120	30	40
10	40	40	70	80	110	110	140	110	140	40	50
10	40	50	80	90	120	130	160	130	160	50	65
10	50	60	100	110	150	150	190	150	190	65	80
20	70	70	120	130	180	180	230	180	230	80	100
20	70	70	120	150	200	210	260	210	260	100	120
20	70	70	120	160	210	210	260	210	260	120	140
30	100	100	160	180	240	240	300	240	300	140	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	160	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	180	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200	225
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	225	250
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	250	280
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	280	315
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	315	355
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	355	400
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	500
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	560
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	560	630

表 8.15 自動調心ころ軸受のラジアル内部すきま

呼び軸受内径 d mm		円筒穴軸受									
		C2		CN		C3		C4		C5	
を超え	以下	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
14	18	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75
18	24	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75
24	30	15	25	25	40	40	55	55	75	75	95
30	40	15	30	30	45	45	60	60	80	80	100
40	50	20	35	35	55	55	75	75	100	100	125
50	65	20	40	40	65	65	90	90	120	120	150
65	80	30	50	50	80	80	110	110	145	145	180
80	100	35	60	60	100	100	135	135	180	180	225
100	120	40	75	75	120	120	160	160	210	210	260
120	140	50	95	95	145	145	190	190	240	240	300
140	160	60	110	110	170	170	220	220	280	280	350
160	180	65	120	120	180	180	240	240	310	310	390
180	200	70	130	130	200	200	260	260	340	340	430
200	225	80	140	140	220	220	290	290	380	380	470
225	250	90	150	150	240	240	320	320	420	420	520
250	280	100	170	170	260	260	350	350	460	460	570
280	315	110	190	190	280	280	370	370	500	500	630
315	355	120	200	200	310	310	410	410	550	550	690
355	400	130	220	220	340	340	450	450	600	600	750
400	450	140	240	240	370	370	500	500	660	660	820
450	500	140	260	260	410	410	550	550	720	720	900
500	560	150	280	280	440	440	600	600	780	780	1000
560	630	170	310	310	480	480	650	650	850	850	1100
630	710	190	350	350	530	530	700	700	920	920	1190
710	800	210	390	390	580	580	770	770	1010	1010	1300
800	900	230	430	430	650	650	860	860	1120	1120	1440
900	1000	260	480	480	710	710	930	930	1220	1220	1570
1000	1120	290	530	530	780	780	1020	1020	1330	1330	1720
1120	1250	320	580	580	860	860	1120	1120	1460	1460	1870
1250	1400	350	640	640	950	950	1240	1240	1620	1620	2080

表 8.16 4点接触玉軸受のアクシアル内部すきま

呼び軸受内径 d mm		C2		CN		C3		C4	
		最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
17	40	26	66	56	106	96	146	136	186
40	60	36	86	76	126	116	166	156	206
60	80	46	96	86	136	126	176	166	226
80	100	56	106	96	156	136	196	186	246
100	140	66	126	116	176	156	216	206	266
140	180	76	156	136	196	176	236	226	296
180	220	96	176	156	216	196	256	246	316

単位: μm

テーパ穴軸受										呼び軸受内径 d mm	
C2		CN		C3		C4		C5			
最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	を超え	以下
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	18
15	25	25	35	35	45	45	60	45	60	18	24
20	30	30	40	40	55	55	75	55	75	24	30
25	35	35	50	50	65	65	85	65	85	30	40
30	45	45	60	60	80	80	100	80	100	40	50
40	55	55	75	75	95	95	120	95	120	50	65
50	70	70	95	95	120	120	150	120	150	65	80
55	80	80	110	110	140	140	180	140	180	80	100
65	100	100	135	135	170	170	220	170	220	100	120
80	120	120	160	160	200	200	260	200	260	120	140
90	130	130	180	180	230	230	300	230	300	140	160
100	140	140	200	200	260	260	340	260	340	160	180
110	160	160	220	220	290	290	370	290	370	180	200
120	180	180	250	250	320	320	410	320	410	200	225
140	200	200	270	270	350	350	450	350	450	225	250
150	220	220	300	300	390	390	490	390	490	250	280
170	240	240	330	330	430	430	540	430	540	280	315
190	270	270	360	360	470	470	590	470	590	315	355
210	300	300	400	400	520	520	650	520	650	355	400
230	330	330	440	440	570	570	720	570	720	400	450
260	370	370	490	490	630	630	790	630	790	450	500
290	410	410	540	540	680	680	870	680	870	500	560
320	460	460	600	600	760	760	980	760	980	560	630
350	510	510	670	670	850	850	1090	850	1090	630	710
390	570	570	750	750	960	960	1220	960	1220	710	800
440	640	640	840	840	1070	1070	1370	1070	1370	800	900
490	710	710	930	930	1190	1190	1520	1190	1520	900	1000
530	770	770	1030	1030	1300	1300	1670	1300	1670	1000	1120
570	830	830	1120	1120	1420	1420	1830	1420	1830	1120	1250
620	910	910	1230	1230	1560	1560	2000	1560	2000	1250	1400

8.3 軸受の予圧

一般に軸受は、運転状態でわずかな内部すきまを与えて使用するが、用途によってはあらかじめ荷重を加えて、軸受内部すきまを負の状態にしていることがある。このような軸受の使い方を予圧法といい、アンギュラ玉軸受、円すいころ軸受に多く適用される。

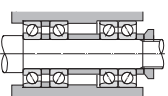
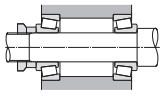
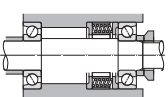
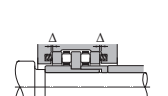
8.3.1 予圧の目的

軸受を予圧することによって、転動体と軌道面との接触点で常に弾性圧縮力を受けている結果、次の効果が得られる。

- (1) 荷重負荷時にも内部すきまが発生しにくく、**剛性が高くなる。**
- (2) 軸の固有振動数が高くなり**高速回転に適する。**
- (3) 軸振れが抑えられ、**回転精度および位置決め精度が向上する。**
- (4) **振動および騒音が抑制される。**
- (5) 転動体の公転滑り、自転滑りおよび旋回滑りが規制されて、**スミアリングが軽減する。**
- (6) 外部振動によって発生する**フレッチングを防止する。**

しかし、**過大に予圧を加えると、寿命低下、異常発熱、回転トルク増大などを招くので用途、予圧の目的をよく考慮して予圧量を決定すべきである。**

表 8.17 予圧の方法と特徴

予圧法	予圧の基本パターン	適用軸受	予圧の目的	方法と予圧量	使用例
定位予圧		アンギュラ玉軸受	回転軸の精度保持、振動防止、剛性を高める。	内・外輪幅の平面差または間座により所定量を予圧する。 標準予圧量 表 8.18 参照	研削盤 旋削盤 フライス盤 測定器
		円すいころ軸受 スラスト玉軸受 アンギュラ玉軸受	軸受部の剛性を高める。	ねじの締付け加減により予圧する。 予圧量は軸受の起動トルクまたは軌道輪の移動量を測定してセットする。	旋削盤 フライス盤 自動車 デフピニオン 印刷機械 車輪
定圧予圧		アンギュラ玉軸受 深溝玉軸受 円すいころ軸受 (高速)	荷重、温度などにより予圧量が変化せず、精度保持、振動、騒音防止する。	コイルばね、皿ばねなどにより予圧する。 深溝玉軸受 $4 \sim 10d$ N d : 軸径 mm アンギュラ玉軸受 表 8.18 参照	内面研削盤 電動機 小型高速軸 テンションリール
		スラスト自動調心ころ軸受 スラスト円筒ころ軸受 スラスト玉軸受	主にアキシャル荷重を受けるときの反アキシャル負荷側のスミアリング防止のため予圧をして用いる。	コイルばね、皿ばねなどにより予圧する。 スラスト玉軸受の予圧量の目安 (次式の大きい方の値をとる) $T_1 = 0.42 (nC_{0a})^{1.9} \times 10^{-13}$ N $T_2 = 0.00083 C_{0a}$ N スラスト自動調心ころ軸受、スラスト円筒ころ軸受 $T = 0.025 C_{0a}^{0.8}$ N	圧延機 押出機

備考 T : 予圧量 N
 n : 回転速度 min^{-1}
 C_{0a} : 基本静定格荷重 N

8.3.2 予圧方法

軸受に予圧を与える一般的な方法は、対向する軸受の間にアキシャル方向の荷重を与えて、軸受の内輪と外輪をアキシャル方向に相対的に変位させることによって行われ、定位置予圧と定圧予圧に分けられる。

軸受の予圧の基本パターンと目的および特徴について、表 8.17 に示す。

定位置予圧

- 1) 軸受同士の位置が固定され、剛性を高めるのに有効である。
- 2) 軸とハウジング間の温度差によるアキシャル方向の伸びの差、内外輪温度差、荷重による変位等により、予圧量が変化する。

定圧予圧

- 1) ばねを用いて予圧するので、運転中の熱影響および荷重の影響による軸受間の位置の変化があっても、予圧量を一定に保つことができる。
- 2) ばねを収縮させる方向のアキシャル荷重は負荷できない。

また、組合せアンギュラ玉軸受の標準予圧量を表 8.18 に示す。一般の振動防止目的には軽予圧・普通予圧が用いられ、特に剛性を必要とする場合は中予圧・重予圧を用いる。

8.3.3 予圧と剛性

軸受の予圧による剛性の増加効果を図 8.2 ~ 図 8.4 に示す。図に示す組合せアンギュラ玉軸受の内輪をアキシャル方向に締付けて密着させると、軸受 I、II はそれぞれ δ_0 だけアキシャル方向に変位して定位置予圧 F_0 が与えられたことになる。この状態で、さらに、外部からアキシャル荷重 F_a が加わると、軸受 I では δ_a だけ変位が増加し、軸受 II では減少する。このとき、軸受 I、II に加えられている荷重はそれぞれ F_{I} 、 F_{II} になる。予圧されていない状態で軸受 I にアキシャル荷重 F_a を加えたときの変位を δ_b とすると、 δ_a は δ_b に比較して小さく、剛性が高くなっていることがわかる。

なお、アキシャル荷重が大きく作用する場合、予圧抜けが発生し、発熱、振動、剛性低下等の不具合につながる可能性があるので注意が必要である。

3 列組合せの場合は 2 列組合せと異なり、左右の変位線図が異なる。図 8.3 では軸受 I に 2 列の変位線図を用い、図 8.4 では軸受 II に 2 列の変位線図を用いる。予圧 F_0 が加わった場合、軸受 I は δ_{01} 、軸受 II は δ_{02} だけ変位する。この状態で軸受 I にアキシャル荷重 F_a が加わると軸受 I は δ_a だけ変位が増加し、軸受 II では減少する。

● 軸受内部すきまと予圧

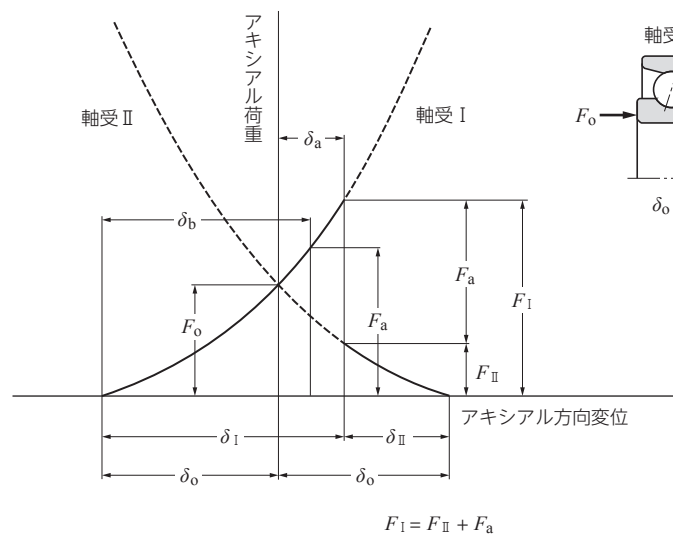
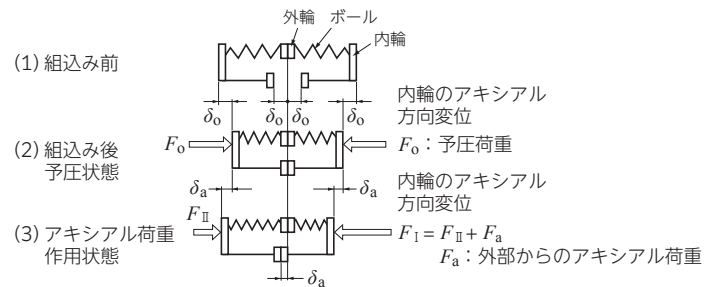


図 8.2 定位置予圧のモデル図および予圧線図

● 軸受内部すきまと予圧

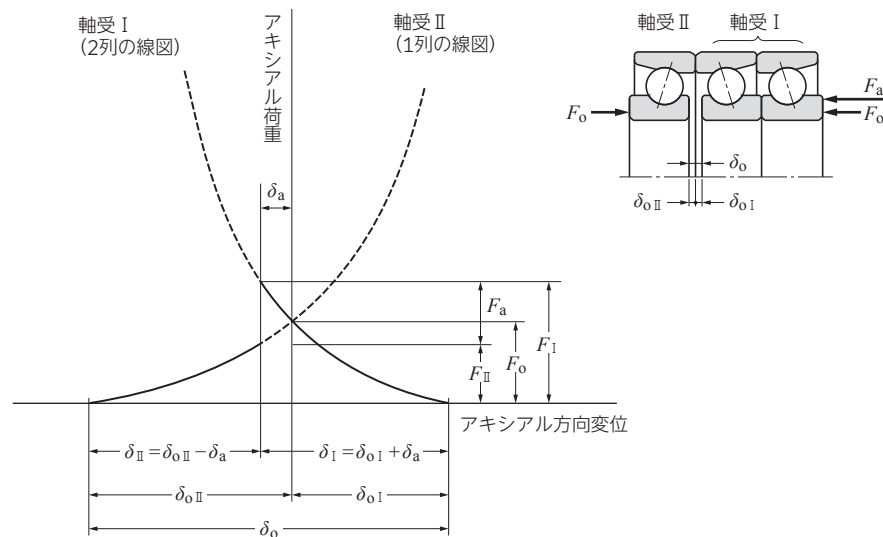


図 8.3 DBT 組合せの予圧線図 (DT 側負荷時)

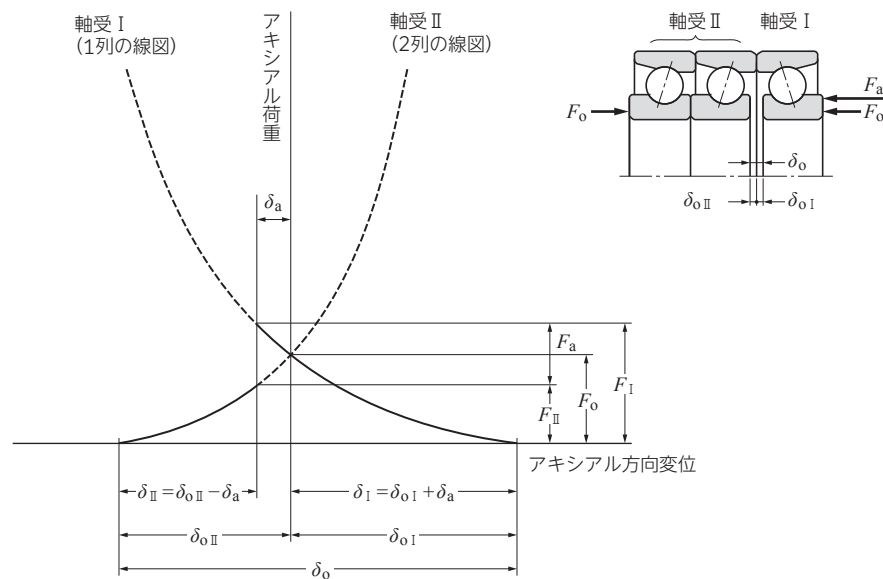


図 8.4 DBT 組合せの予圧線図 (DB 側負荷時)

表 8.18 組合せアンギュラ玉軸受の標準予圧量

呼び軸受内径 <i>d</i> mm		軸 受 系 列							
		79				70			
		軽予圧 GL	普通予圧 GN	中予圧 GM	重予圧 GH	軽予圧 GL	普通予圧 GN	中予圧 GM	重予圧 GH
—	12	—	39	78	147	29	78	147	196
12	18	—	49	147	196	29	78	147	294
18	32	29	98	196	294	49	147	294	490
32	40	49	147	294	590	78	294	590	885
40	50	49	196	390	685	78	294	590	980
50	65	78	245	490	785	147	490	885	1 470
65	80	98	390	785	1 180	147	590	1 470	1 960
80	90	147	490	980	1 470	196	885	1 960	2 940
90	95	147	490	980	1 470	196	885	1 960	2 940
95	100	196	685	1 270	1 960	196	885	1 960	2 940
100	105	196	685	1 270	1 960	294	980	2 450	3 900
105	110	196	685	1 270	1 960	294	980	2 450	3 900
110	120	245	885	1 780	2 940	294	980	2 450	3 900
120	140	294	980	1 960	3 450	490	1 470	3 450	5 900
140	150	390	1 270	2 450	4 400	490	1 470	3 450	5 900
150	160	390	1 270	2 450	4 400	685	2 450	4 900	8 850
160	170	390	1 270	2 450	4 400	685	2 450	4 900	8 850
170	180	490	1 770	3 450	5 900	685	2 450	4 900	8 850
180	190	490	1 770	3 450	5 900	885	3 450	6 850	9 800
190	200	685	2 450	4 900	7 850	885	3 450	6 850	9 800

単位：N

軸 受 系 列							
72, 72B				73, 73B			
軽予圧 GL	普通予圧 GN	中予圧 GM	重予圧 GH	軽予圧 GL	普通予圧 GN	中予圧 GM	重予圧 GH
29	98	196	294	49	147	294	390
29	98	294	390	49	147	390	490
78	196	490	785	98	294	590	980
98	390	885	1 470	147	490	980	1 960
147	590	980	1 960	196	785	1 470	2 450
196	785	1 470	2 940	294	980	2 450	3 900
294	980	2 450	3 900	390	1 470	3 450	4 900
490	1 470	2 940	4 900	590	1 960	3 900	5 900
490	1 960	3 900	5 900	590	2 450	4 900	6 850
490	1 960	3 900	5 900	590	2 450	4 900	6 850
590	2 450	4 900	7 850	685	2 940	5 900	8 850
590	2 450	4 900	7 850	685	2 940	5 900	8 850
590	2 450	4 900	7 850	685	2 940	5 900	8 850
590	2 450	4 900	7 850	685	2 940	5 900	8 850
785	2 940	5 900	9 800	885	3 900	7 850	11 800
785	2 940	5 900	9 800	885	3 900	7 850	11 800
885	3 900	7 850	11 800	980	4 400	8 850	13 700
885	3 900	7 850	11 800	980	4 400	8 850	13 700
885	3 900	7 850	11 800	980	4 400	8 850	13 700
980	4 400	8 850	13 700	1 470	5 900	11 800	15 700
980	4 400	8 850	13 700	1 470	5 900	11 800	15 700

8.4 必要最小荷重

一般に軸受は、無負荷あるいはごく軽荷重で運転した場合、転動体と軌道面の間に滑りを生じる場合がある（「8.3.1 予圧の目的」項参照）。高速回転の場合、ジャイロ滑りや保持器の滑りはスミアリングをはじめとする早期損傷の原因となり得るため、軸受運転時には、滑りを生じない必要最小限の荷重を負荷する必要がある。

ラジアル軸受における必要最小ラジアル荷重の目安を以下に示す。

- 玉軸受（自動調心玉軸受を除く）：0.023C_{0r}
- 自動調心玉軸受：0.018C_{0r}
- ころ軸受：0.040C_{0r}

ここで、

C_{0r}：基本静定格荷重 N

*スラスト軸受の必要最小荷重については、NTN にご照会ください。