

第6章 軸・軸継手

6.1 回転軸

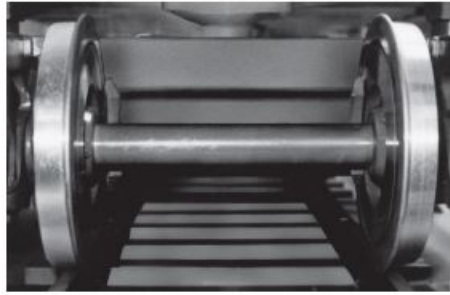
回転軸：回転と動力を伝える

6.1.1 軸の種類

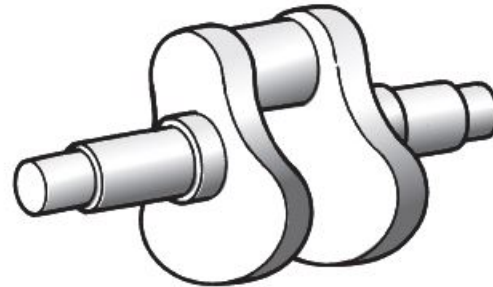
表 6-1 作用荷重による軸の分類

作用荷重	軸	使用目的
おもに曲げを受ける軸	車軸 ^②	貨車などの車体を支える軸で、車輪と一体となって回転する軸と、固定軸のまわりに車輪が回転するものがある(図 6-1(a))。
おもにねじりを受ける軸	伝動軸 ^③	動力伝達をおもな目的とする回転軸である。
	主軸 ^④	主動力を伝える回転軸。変形が少ない精度の高い回転軸である。
	スピンドル ^⑤	高速回転し、回転精度がきわめて高い回転軸である。工作機械では、主軸として用いられることがある。
曲げ・ねじり・引張り・圧縮などを同時に2種類以上受ける軸	プロペラ軸 ^⑥	船舶や航空機、自動車などで動力を伝える軸である(図 6-1(b))。
	クランク軸 ^⑦	内燃機関の往復運動を回転運動にする軸である(図 6-1(c))。
	たわみ軸 ^⑧	ねじり剛性は高いが、曲げ剛性は低くたわみやすい軸。軸方向を自由に変えられるので、小動力の伝達用や計測器などに用いられる(図 6-1(d))。

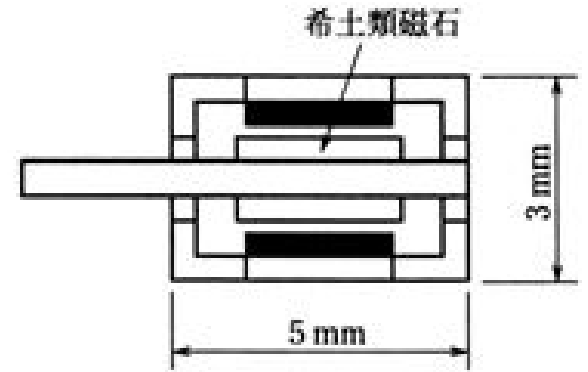
主な軸の種類



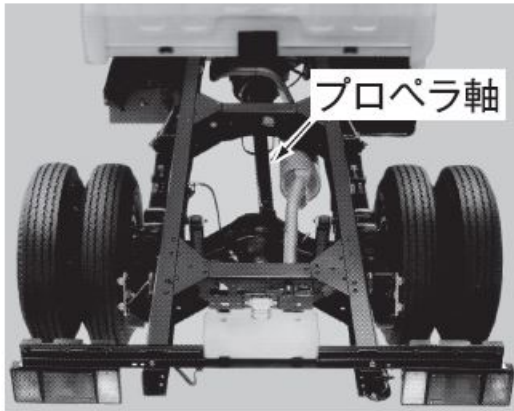
(a) 車軸



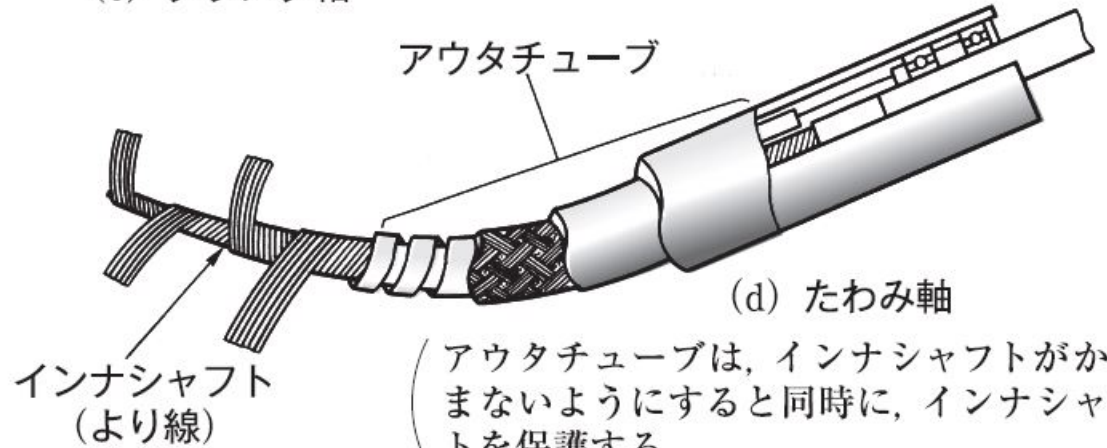
(c) クランク軸



(b) 超小型モータ

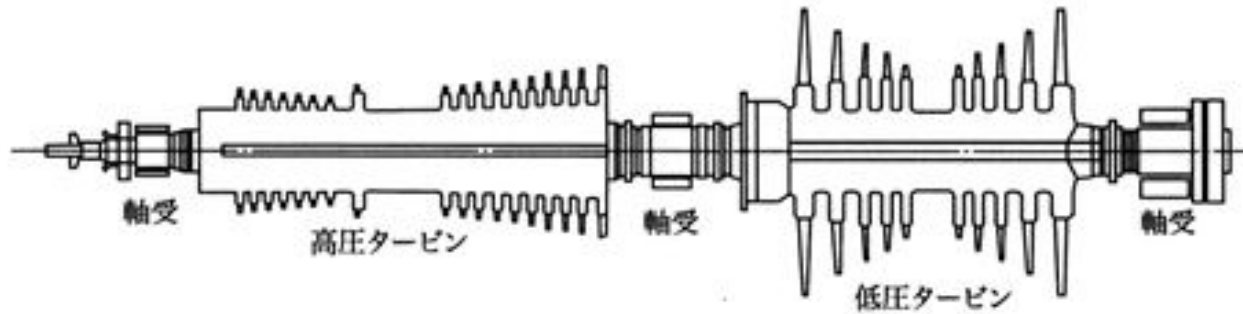


(b) プロペラ軸



(d) たわみ軸

(アウトチューブは、インナシャフトがからまないようにすると同時に、インナシャフトを保護する。)



(a) タービン軸 (軸受部軸直径: 700 mm)

5.1.2 軸設計における基本事項

- ・ **強さ(強度)** : 軸に加わる様々な荷重に対して、十分な強度を持つ
- ・ **剛性** : 荷重によるたわみやねじれなどの変形を押さえる



剛性設計

- ・ **振動** : 危険速度を高めたり、回避する工夫をする
- ・ **腐食・摩耗** : 腐食や摩耗に耐性を持たせる



入手性、コスト、加工性等を考慮

5.1.3 軸の強さ

軸に作用する荷重の種類

ねじりモーメントだけが作用

曲げモーメントだけが作用

ねじりと曲げが同時に作用

軸力(軸方向荷重)が付加

(1) 曲げだけを受ける軸

円形断面のはりとして扱う

第3章を参照

・中実軸

$$M \leq \sigma_a Z = \sigma_a \frac{\pi d^3}{32}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi \sigma_a}}$$

・中空軸

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \quad \leftarrow \quad \frac{d_1}{d_2} = k_d$$

$$M \leq \sigma_a \frac{\pi}{32} d_2^3 (1 - k_d^4)$$

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi \sigma_a (1 - k_d^4)}}$$

計算された d 、 d_2 よりも一回り大きな寸法を表6-2から選ぶ

(実用的には、軸受がある直径にする)

表6-2 軸の直径
[単位 mm]

4	16	42
4.5	17	45
5	18	48
5.6	19	50
6	20	55
6.3	22	56
7	22.4	60
7.1	24	63
8	25	65
9	28	70
10	30	71
11	31.5	75
11.2	32	80
12	35	85
12.5	35.5	90
14	38	95
15	40	100

例題 1

$M = 60 \text{ N}\cdot\text{m}$ の曲げモーメントを受ける軸の直径 d を求めよ。ただし、許容曲げ応力は $\sigma_a = 45 \text{ MPa}$ とする。

解答

式 (6-1) から,

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi\sigma_a}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 60 \times 10^3}{\pi \times 45}} = 23.9 \text{ [mm]}$$

したがって、表 6-2 から 24 mm とする。^②

答 24 mm

(2) ねじりだけを受ける軸

・中実軸

$$T \leq \tau_a Z_p = \tau_a \frac{\pi d^3}{16} \quad \leftarrow \quad T = \tau_a Z_p, \quad Z_p = \frac{\pi d^3}{16}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_a}}$$

・中空軸

$$Z_p = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} = \frac{\pi}{16} d_2^3 (1 - k_d^4)$$

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_a (1 - k_d^4)}}$$

$$\frac{d_1}{d_2} = k_d$$

・伝達動力から軸径を求める場合

動力 [kW] を n [min^{-1}] で伝達する時のトルク T [$\text{N}\cdot\text{mm}$]

$$1000 P = \frac{T}{1000} \cdot \frac{2\pi n}{60}$$



$$T = \frac{30}{\pi} \times 10^6 \frac{P}{n}$$



中実軸：

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_a}} = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi\tau_a} \times \frac{30}{\pi} \times 10^6 \frac{P}{n}} = 100 \sqrt[3]{\frac{480P}{\pi^2\tau_a n}}$$

中空軸：

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_a (1 - k_d^4)}} = 100 \sqrt[3]{\frac{480P}{\pi^2\tau_a n (1 - k_d^4)}}$$

例題 2

$T = 50 \text{ N}\cdot\text{m}$ のねじりモーメントを受ける軸の直径 d を求めよ。ただし、許容せん断応力 $\tau_a = 25 \text{ MPa}$ とする。

解答

$50 \text{ N}\cdot\text{m}$ は $50 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$ であるので、式 (6-3) から、

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_a}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 50 \times 10^3}{\pi \times 25}} = 21.7 \text{ [mm]}$$

したがって、表 6-2 から 22 mm を選ぶ。

答 22 mm

例題 4

$P = 3 \text{ kW}$ の動力を $n = 1200 \text{ min}^{-1}$ の回転速度で伝達する軸の直径 d を求めよ。許容せん断応力 τ_a は 25 MPa とする。

解答

式 (6-6) から、

$$\begin{aligned} d &\geq 100 \sqrt[3]{\frac{480P}{\pi^2 \tau_a n}} = 100 \sqrt[3]{\frac{480 \times 3}{\pi^2 \times 25 \times 1200}} \\ &= 16.9 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

表 6-2 から 17 mm を選ぶ。

答 17 mm

(3) 曲げとねじりを受ける軸

軸に曲げモーメント M とねじりモーメント T が同時に加わる



相当ねじりモーメント T_e と相当曲げモーメント M_e に換算し、
大きい方の軸径とする



$$T_e = \sqrt{M^2 + T^2}$$

$$M_e = \frac{M + \sqrt{M^2 + T^2}}{2} = \frac{M + T_e}{2}$$

相当曲げモーメントからの計算

$$\text{中実軸} : d \geq \sqrt[3]{\frac{32M_e}{\pi\sigma_a}}$$

$$\text{中空軸} : d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{32M_e}{\pi\sigma_a (1 - k_d^4)}}$$

相当ねじりトルクからの計算

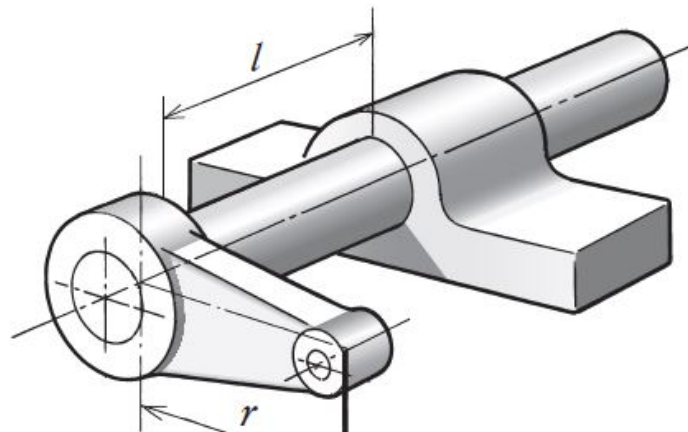
$$\text{中実軸} : d \geq \sqrt[3]{\frac{16T_e}{\pi\tau_a}}$$

$$\text{中空軸} : d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{16T_e}{\pi\tau_a (1 - k_d^4)}}$$

比較して
大きい軸径
を選ぶ

例題 5

図で $W = 400\text{N}$,
 $l = 500\text{ mm}$, $r =$
 300 mm のとき, 軸
 の直径 d を求めよ。
 ただし, 許容曲げ応



力を σ_a
 許容せ,
 $\tau_a = 25$

解答

ねじりモーメント T と, 曲げモーメント M は,

$$T = Wr = 400 \times 300 = 120 \times 10^3 \text{ [N}\cdot\text{mm]}$$

$$M = Wl = 400 \times 500 = 200 \times 10^3 \text{ [N}\cdot\text{mm]}$$

相当ねじりモーメント T_e , 相当曲げモーメント M_e は式
 (6-7) から,

$$T_e = \sqrt{M^2 + T^2} = \sqrt{200^2 + 120^2} \times 10^3$$

$$= 233.2 \times 10^3 \text{ [N}\cdot\text{mm]}$$

$$M_e = \frac{M + T_e}{2} = \frac{200 + 233.2}{2} \times 10^3$$

$$= 216.6 \times 10^3 \text{ [N}\cdot\text{mm]}$$

相当曲げモーメントによる軸の直径は, 式 (6-8) から,

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M_e}{\pi\sigma_a}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 216.6 \times 10^3}{\pi \times 50}} = 35.3 \text{ [mm]}$$

6.1.4 軸の剛性

剛性: 単位荷重当たりの変形量 → 小さく抑える必要がある

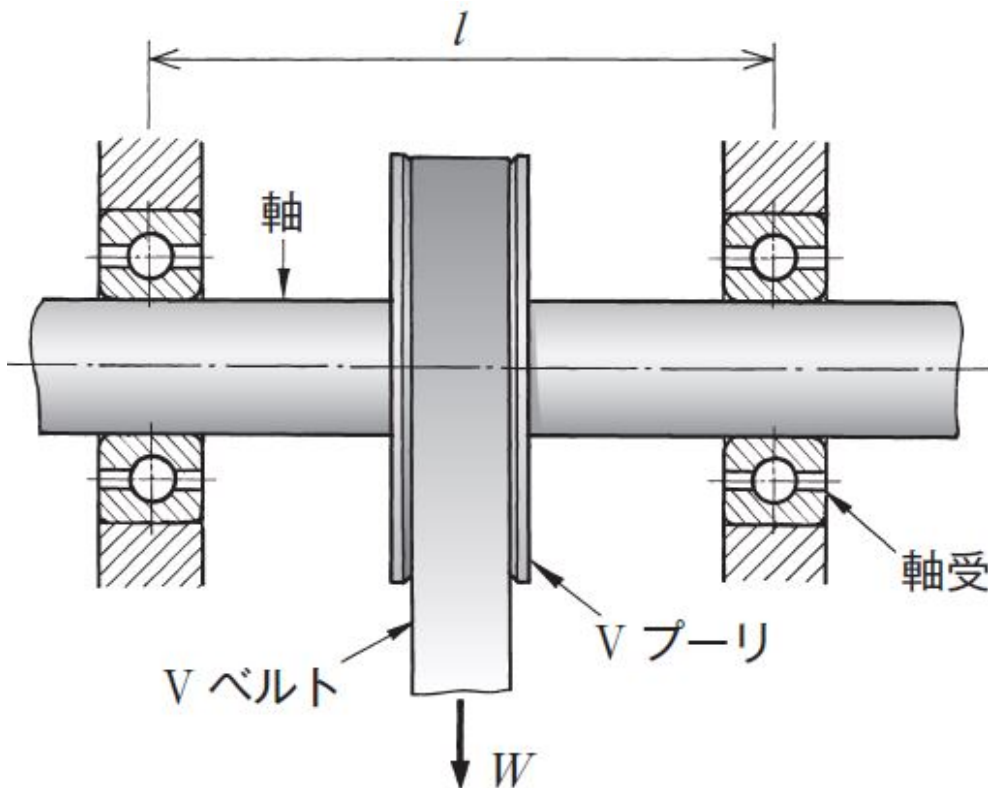
(1) 曲げ剛性

軸の中央に集中荷重 W が作用した時の最大たわみ



両端支持はりとして、

$$\delta_{\max} = \frac{Wl^3}{48 \times 1000 EI}$$

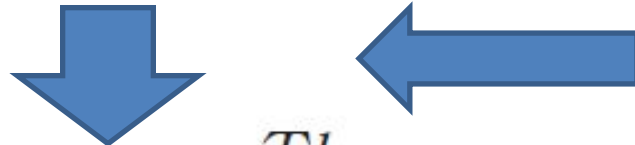


一般の軸では、
最大たわみを
0.35mm / m
以下にする

(2) ねじり剛性

長さ l の軸にトルク T が作用した場合のねじれ θ は、

$$\theta = 57.3 \times \frac{Tl}{1000GI_p}$$


$$\theta = 57.3 \times \frac{Tl}{1000 G \frac{\pi d^4}{32}}$$
$$I_p = \frac{\pi d^4}{32}$$

ねじれを θ 以下にするために必要な軸径は、

$$d \geq \sqrt[4]{57.3 \times \frac{Tl \times 32}{1000 \pi^2 G \theta}}$$

動力P[kW]を伝えるためには、

$$d \geq \sqrt[4]{57.3 \times 32 \times \frac{30}{\pi} \times 10^6 \frac{P}{n} \times \frac{l}{1000 \pi G \theta}}$$
$$= 100 \sqrt[4]{\frac{0.55Pl}{\pi^2 G \theta n}}$$

軸のねじれ許容値は、1m当たり1/3°や1/4°

$$d \geq 100 \sqrt[4]{\frac{0.55 \times 1000P}{\frac{1}{3} \pi^2 G n}}$$
$$= 100 \sqrt[4]{\frac{1650P}{\pi^2 G n}}$$

材料が鉄鋼ならば、

$$d \geq 100 \sqrt[4]{\frac{1650P}{82 \pi^2 n}}$$
$$= 100 \sqrt[4]{\frac{20.12P}{\pi^2 n}}$$

軸径としては、曲げ、ねじりの許容値を満たす 軸径の大きい方を採用する

例題 6

$P = 15 \text{ kW}$ の動力を回転速度 $n = 280 \text{ min}^{-1}$ で伝える鋼製の伝動軸の直径 d [mm] を求めよ。ただし、横弾性係数 $G = 82 \text{ GPa}$, 許容せん断応力 $\tau_a = 25 \text{ MPa}$,
ねじり剛性は、1 m あたりの許容ねじれ角が 1° である。

解答

ねじり強さによる軸の直径は、式 (6-6) から、

$$d \geq 100 \sqrt[3]{\frac{480P}{\pi^2 \tau_a n}} = 100 \times \sqrt[3]{\frac{480 \times 15}{\pi^2 \times 25 \times 280}} = 47.1 \text{ [mm]}$$

ねじり剛性は、1 m あたりの許容ねじれ角が $\frac{1}{3}^\circ$ であるので、式 (6-13) から、

$$d \geq 100 \sqrt[4]{\frac{20.12P}{\pi^2 n}} = 100 \times \sqrt[4]{\frac{20.12 \times 15}{\pi^2 \times 280}} = 57.5 \text{ [mm]}$$

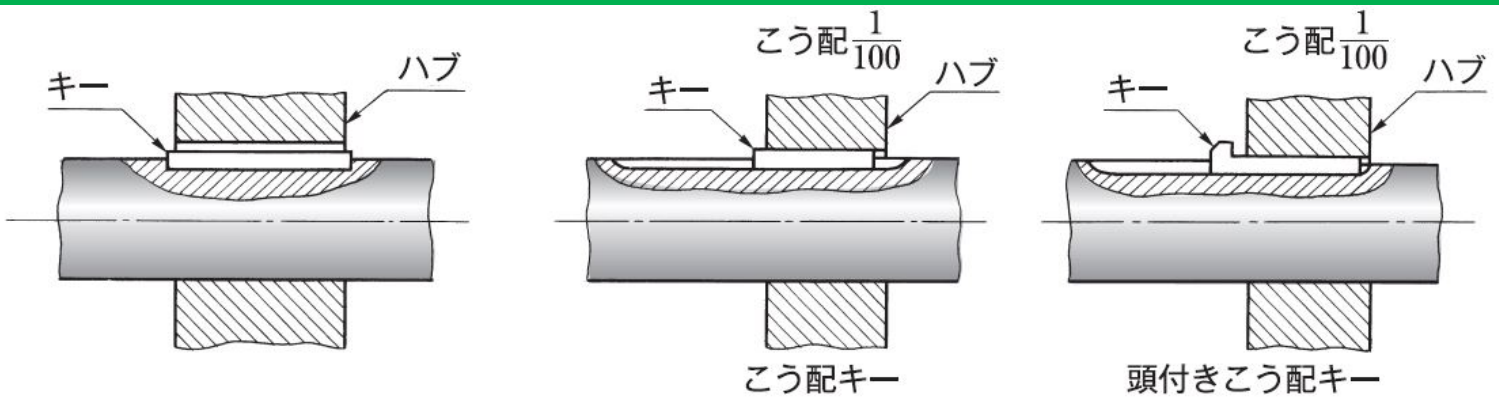
大きいほうの値 57.5 mm をとり、表 6-2 から 60 mm を選ぶ。

答 60 mm

6.1.5 軸に回転部品を取り付ける要素

(1) キー

軸と歯車、プーリなどへトルクを伝達する機械要素

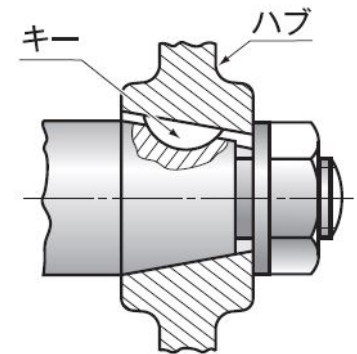
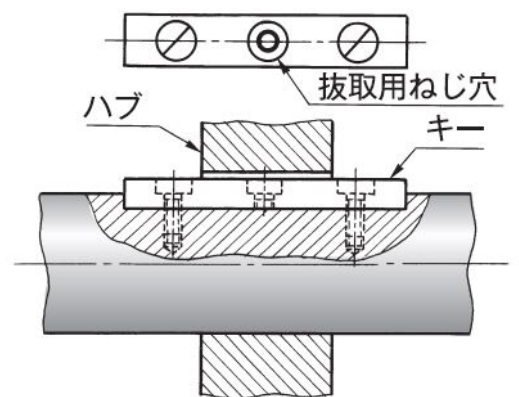


軸とハブにキー溝を設け、キーを取りつける。最も広く用いられている。

軸のキー溝は軸心に平行、ハブのキー溝をキーのこう配 (1/100) にあわせる。

(a) ねじ用穴なし平行キー

(b) こう配キー



ハブを軸方向に滑らせるときに用いる。

キーの傾きが自動的に調整されるのでハブを押し込みやすい。テーパ軸端に用いられることが多い。

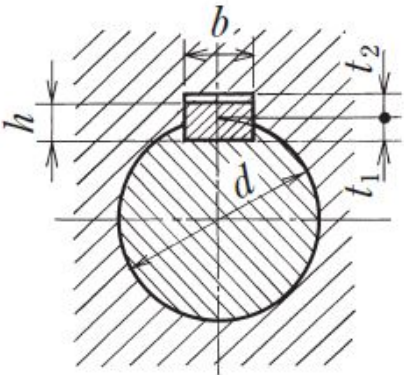
(c) ねじ用穴付き平行キー

(d) 半月キー

キーは中央部でせん断を受けるので、せん断力で破壊しない断面積(幅と長さ)を確保して、表6-3から寸法を選択する。

表 6-3 平行キーの寸法例

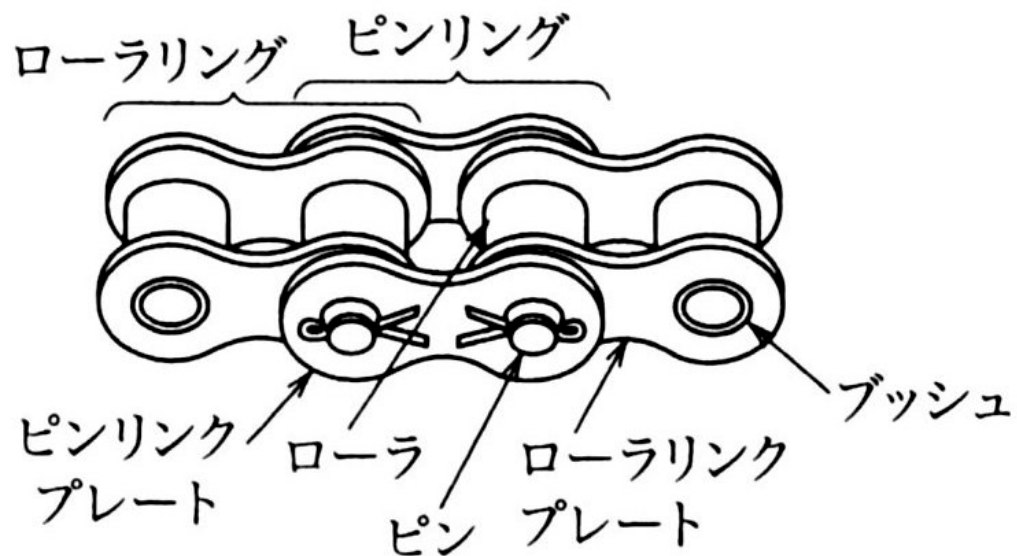
[単位 mm]

	キーの呼び寸法 $b \times h$	キー溝の基準寸法		(参考) 適用する軸の直径*1
		t_1	t_2	
	2 × 2	1.2	1.0	6~8
	3 × 3	1.8	1.4	8~10
	4 × 4	2.5	1.8	10~12
	5 × 5	3.0	2.3	12~17
	6 × 6	3.5	2.8	17~22
	8 × 7	4.0	3.3	22~30
	10 × 8	5.0	3.3	30~38
	12 × 8	5.0	3.3	38~44
	14 × 9	5.5	3.8	44~50
	16 × 10	6.0	4.3	50~58
	18 × 11	7.0	4.4	58~65

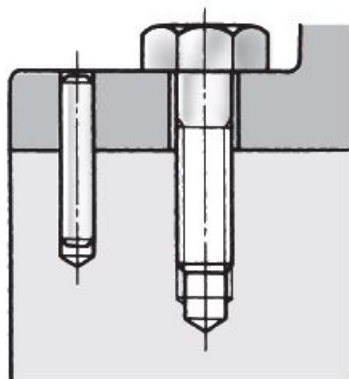
(2) ピン

ピンの用途

- ・位置決め
- ・部品間のずれ防止



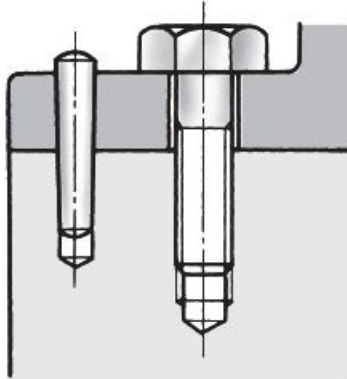
平行ピン



テーパピン



テーパ $\frac{1}{50}$



割りピン

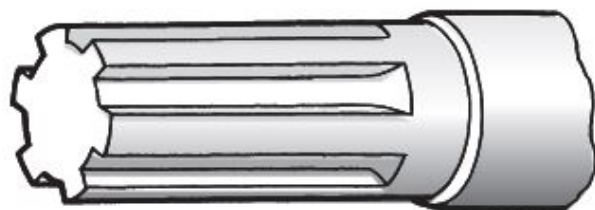
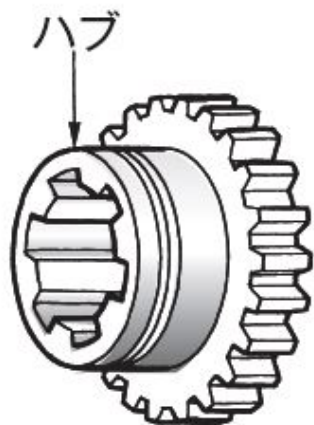


テーパピン



(3) スプライン

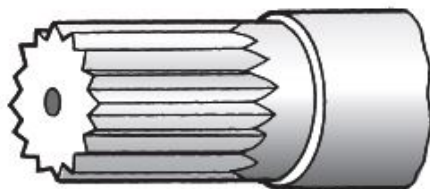
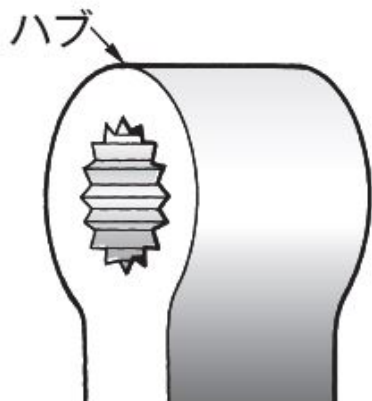
軸とハブに複数の歯と溝を加工し、
かみ合いによってトルクを伝達する



溝数は、6 or 8

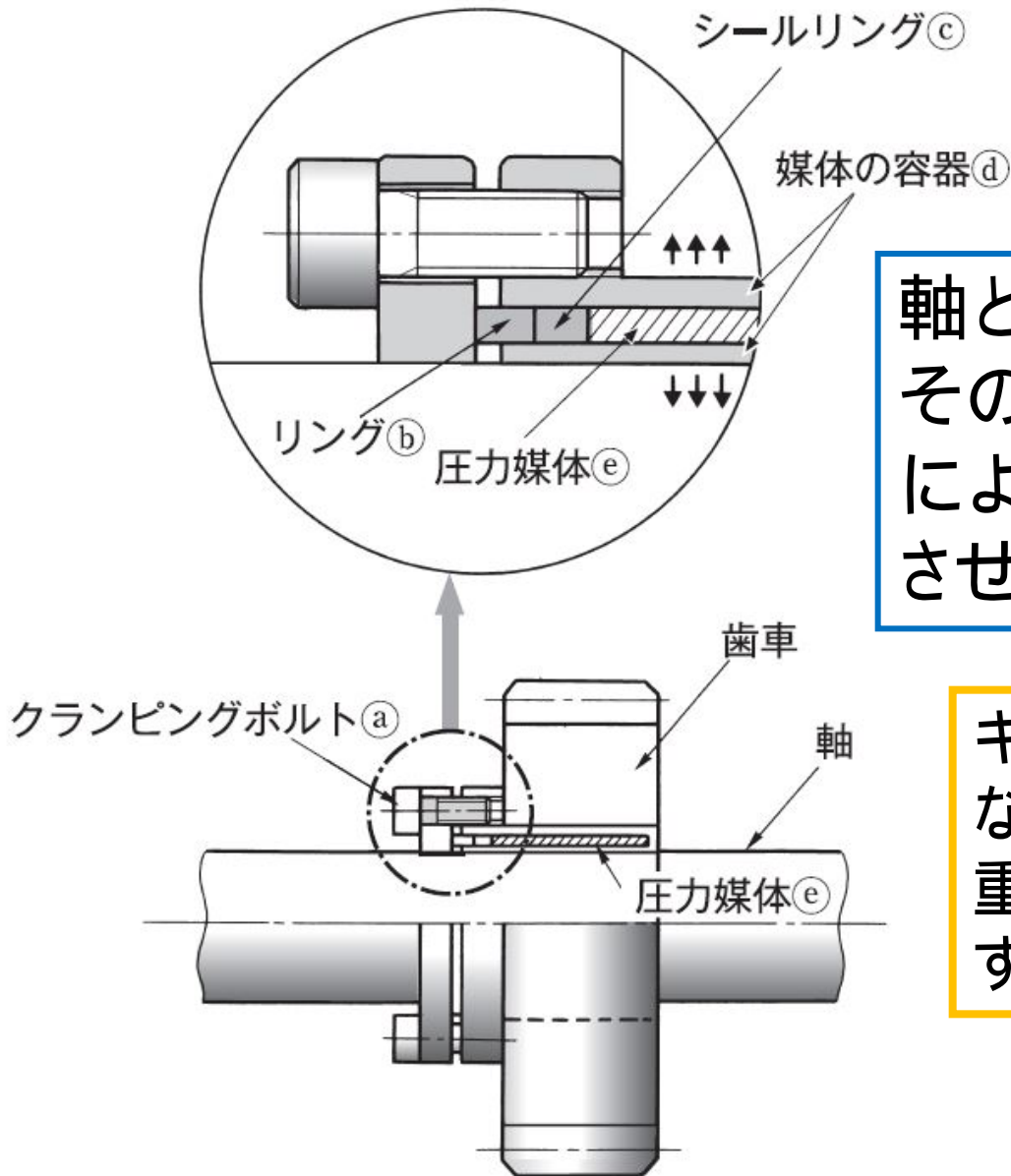
(4) セレーション

スプラインと同じ原理でトルクを伝達
するが、歯が小さく、多い



歯の形は、三角やインボリュート
歯数は、

(5) フリクションジョイント



軸との間にすきまを設けて、その部分を膨張させることによって、摩擦力を発生させて、トルクを伝達する

キー溝などの加工が不要になるが、装置自体が大きく、重く、アンバランスを大きくする

6.2 軸継手

駆動源(モータ等)と軸をつなぐ機械要素



回転トルクだけを伝達する

6.2.1 軸継手の設計で注意すべき事項

- ① 取りつけ・取りはずしをやすくする。
- ② できるかぎり小形・軽量にする。
- ③ できるかぎり軸受の近くに設ける。
- ④ 危険防止のため、外部への突起がないようにする。突起があつて危険なときはカバーをする。

さらに、2軸の**偏心**、**角度誤差**、**継手自体の大きさ**等

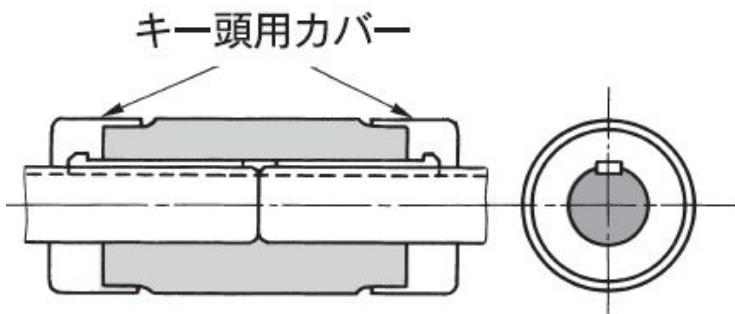
6.2.2 おもな軸継手

(1) 固定軸継手

- ・2軸の軸線がよく一致していることが必要
- ・フランジ型の場合は、

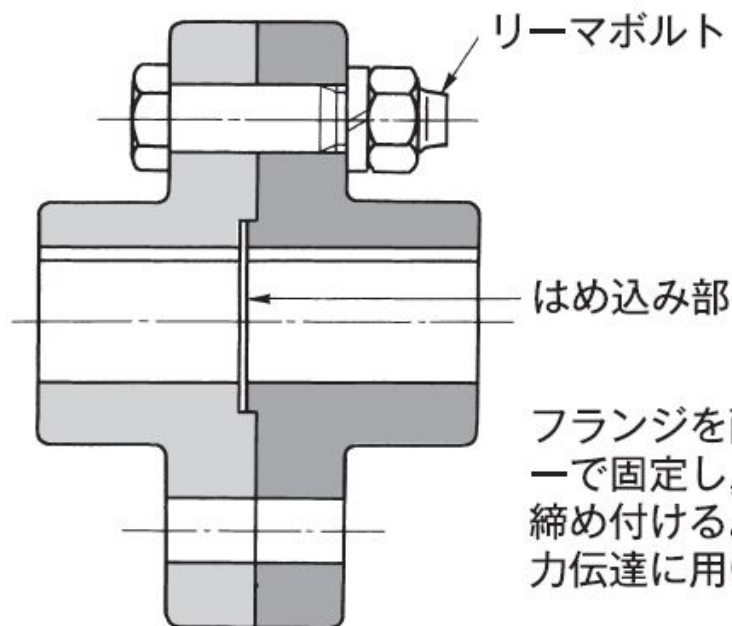
フランジ端面の摩擦力
ボルトのせん断抵抗

でトルクを伝達する



筒に軸を両方からキーで固定する。
細い軸に用いる。

(a) 筒形軸継手



フランジを両軸端にキーで固定し、ボルトで締め付ける。大きな動力伝達に用いる。

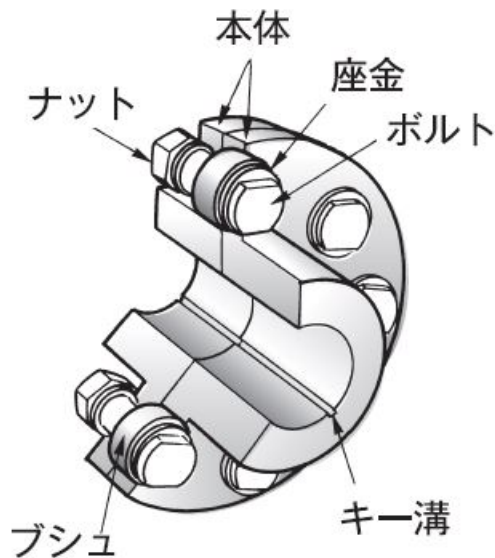
(b) フランジ形固定軸継手

(2) たわみ軸継手

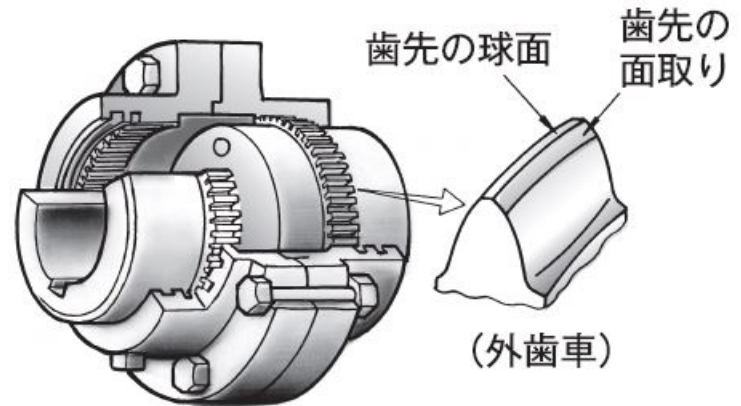
- ・2軸の軸線を合わせることが難しい場合
- ・振動や衝撃を緩和(伝えたくない)場合 使用する



2軸の軸線誤差は、常に小さくする必要がある
(高速回転における振動上昇の原因)



(a) フランジ形たわみ軸継手

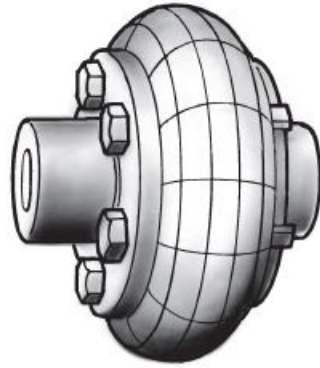


ギヤカップリングともいう。外筒の内歯車と円筒の外歯車がかみあう。外歯車に軸方向の丸みをつけ、軸が傾いてもよいようになっている。高速回転、大トルク用。

(b) 歯車形軸継手



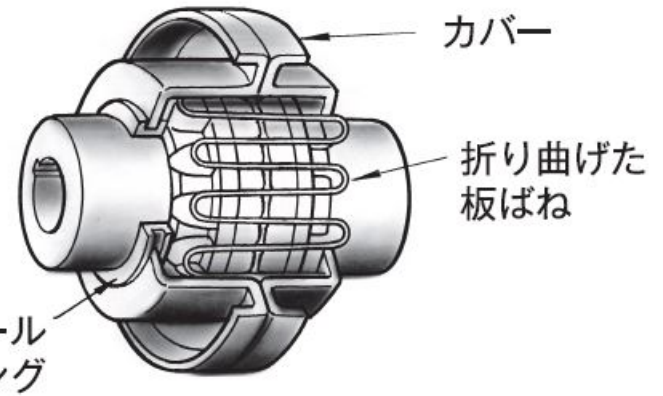
星形ゴム軸継手
(圧縮形)



タイヤ形ゴム軸継手(せん断形)

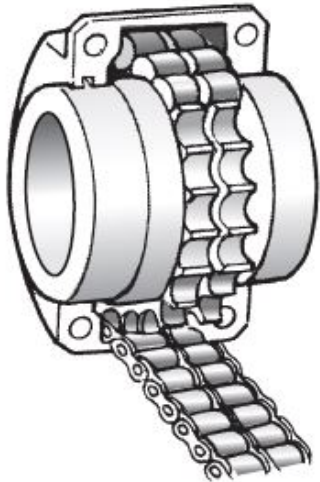
ゴムの弾性効果を利用し，騒音の防止・電気絶縁などの利点がある。耐久性に劣る。

(c) ゴム軸継手



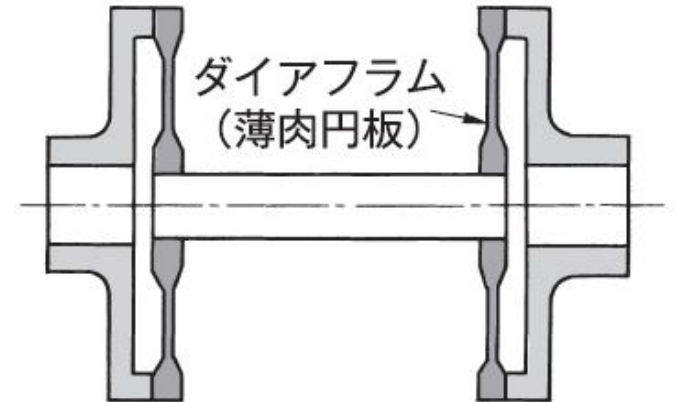
板ばね・コイルばね・ベローズなどをたわみ材として使用する。

(d) 金属ばね軸継手



チェーンとスプロケットとの間のすきまによって両軸心の不一致を吸収する。

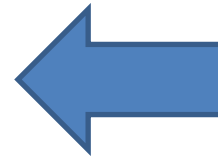
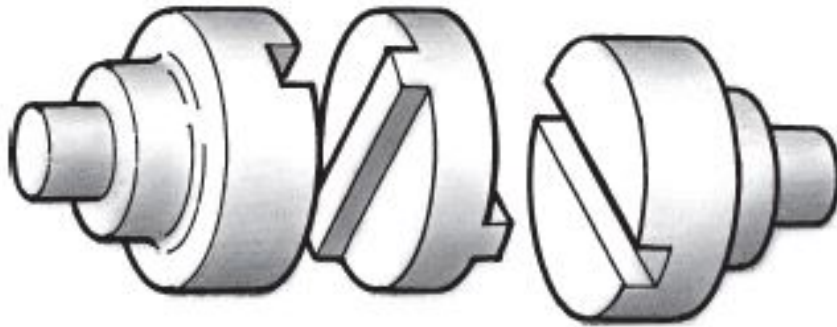
(e) ローラチェーン軸継手



(f) ダイアフラム形軸継手

(3) オルダム継手

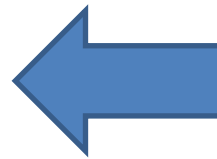
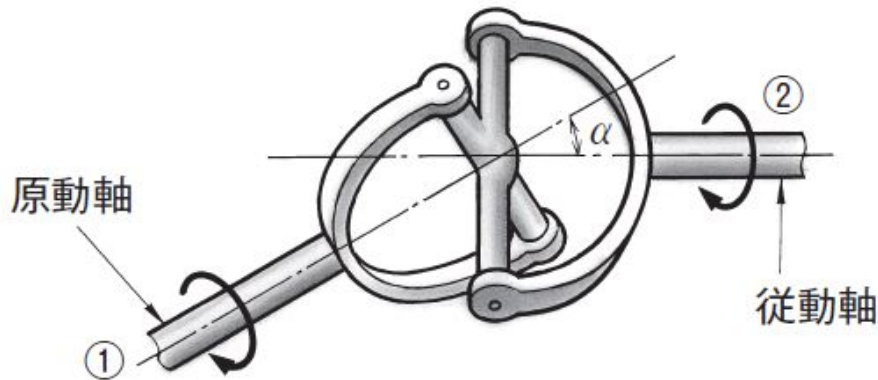
2軸の平行心ずれが大きい場合にも適用できる



機構学で
学習済み(?)

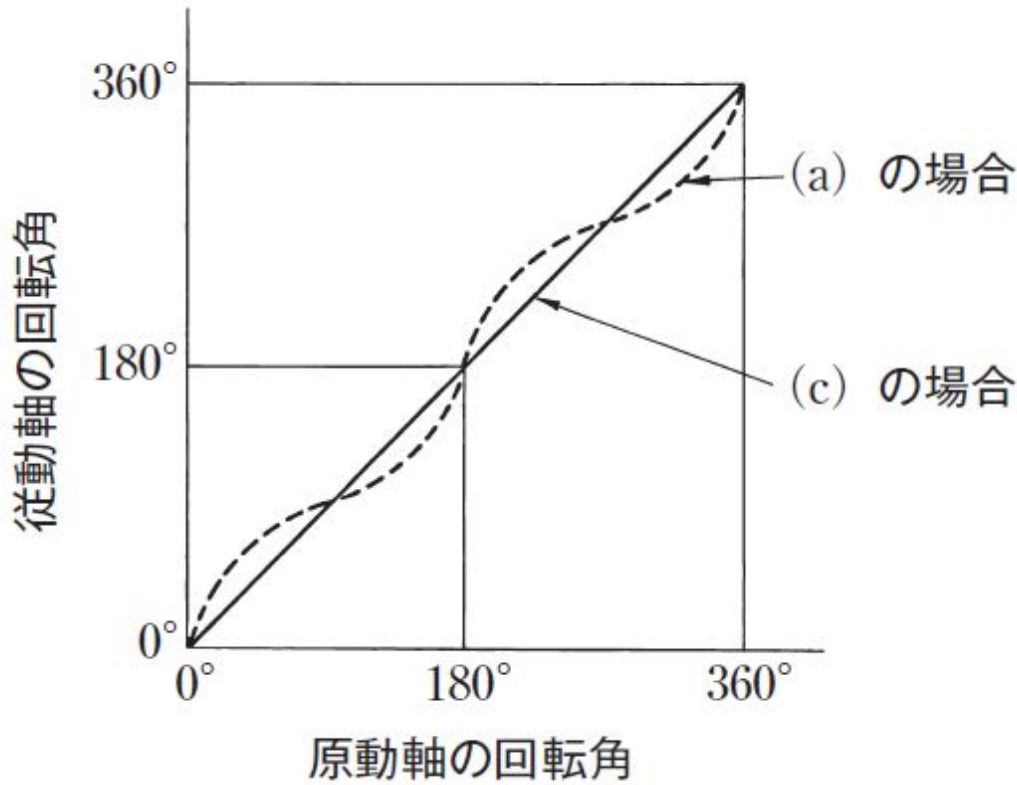
(4) 自在継手 (ユニバーサルジョイント)

2軸の角度誤差が大きい場合にも適用できる

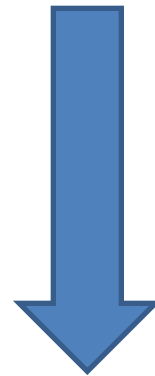


機構学で
学習済み(?)

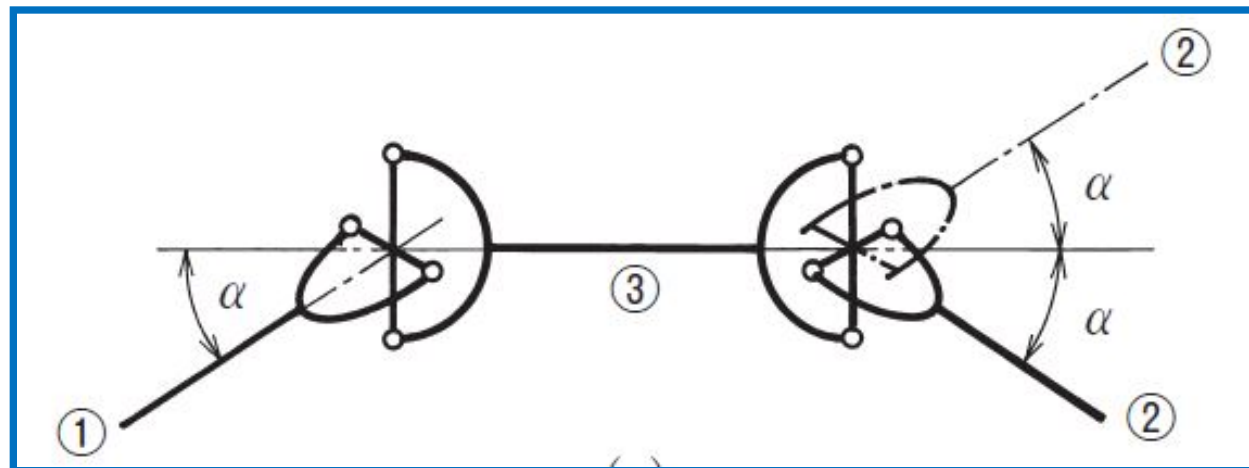
α 30°



しかし、原動軸(入力)の回転と従動軸(出力)の回転には
位相差(速度むら)
 がある



軸のもう一端に
**同じ角度でもう
 1つ設置**すると
 位相差を相殺
 できる



今週の演習問題

テキストP144、問題6

ただし、中空軸の

外径を40mmに変更