

機械要素設計  
歯車の強度計算  
締結・接合要素  
ねじ締結  
機械工学科  
加藤恵輔

# 配布用資料について

1. 引用した図，写真，表などを割愛しました.
2. 計算式など教科書を読めば分かる部分は割愛しました.
3. 従いまして，授業時の内容よりかなり少ない資料になっていることを御了承下さい.

# 参考資料

13回目, 14回目資料および演習問題については  
以下のURLを参照のこと

[http://www.isc.meiji.ac.jp/~mcelab/yohso\\_sekkei/  
yohso\\_sekkei\\_j.htm](http://www.isc.meiji.ac.jp/~mcelab/yohso_sekkei/yohso_sekkei_j.htm)

同じ内容をOh!Meijiにて発信するので上記アドレスはメモしなくても大丈夫です.

# Technical terms

- Single piece
- Fastener element
- Assembling
- Part replacement
- High reliability
- disassembling
- Bonding
- Adhesion
- Welding
- Relative motion
- Added value
- Looseness
- Bolt
- Screw / Screw thread
- Nut / Screw nut
- Vise
- Tapping screw
- Rivet
- Pin

# 機械要素設計

歯車の強度計算

締結・接合要素

ねじ締結

# Technical terms

- Spring washer
- Hole before threading
- Stud bolt
- Phillips Screw
- Flat Screw
- Reamer bolt / Tight fit bolt
- Through hole
- Deburring / Deflashing
- Bolt tension
- Left hand thread
- Width across flat
- Stress area
- Knocking
- Sleeve
- Lead
- Pitch
- Multiple thread screw
- Taper screw
- Run out of thread
- External thread
- Internal thread
- Chamfer
- Metric coarse thread
- Metric fine pitched thread

# 機械におけるねじの利用

締結	部品同士をねじの軸力によって押さえつける 部品が離れようとするのをねじの軸で支える	部品同士の固定
伝達(送り)	ねじの一回転あたりの進み(リード)を用いて回転運動から直線運動に変換	工作機械の送り機構 ステージの送り機構
計測	ねじの一回転あたりの進み(リード)を用い, 回転および並進から長さを計測	マイクロメータ

# ボルトとナットの英語表記

## 1. Bolt and Nut

Bolt

Part A

Part B

Spring washer

Nut

Screw

Part B

Part A

hole before threading

Stud bolt

## 2. Screw

## 3. Stud

Nut

Part B

Part A

hole before threading



# (参考)ねじの表記

一般用語または現場用語でねじ全般を[ビス]と呼ぶことがある.

- Vis(仏語)が語源
- 小ねじ(+とか-)ねじを示すことが多い

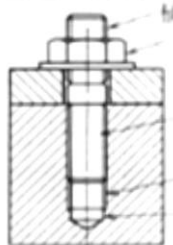
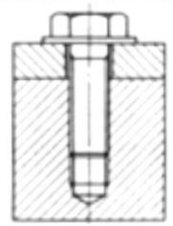
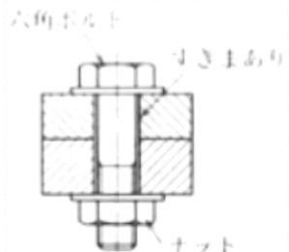
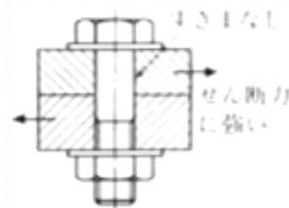
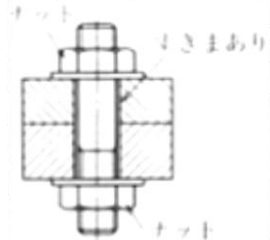
+ (Phillips )と- (Flat, Slotted, Standard)

- 英語圏の人間にプラス(クロス)とかマイナスと言っても驚くほど通じない
- 電機, 医療機器メーカーのPhilipsとは違う

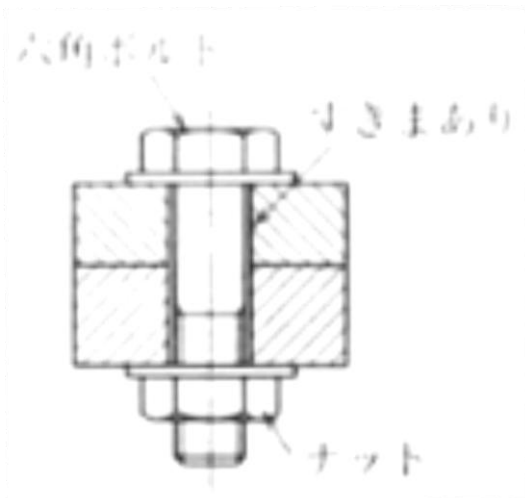
# ねじを用いた設計

# ボルトによる部材締結法

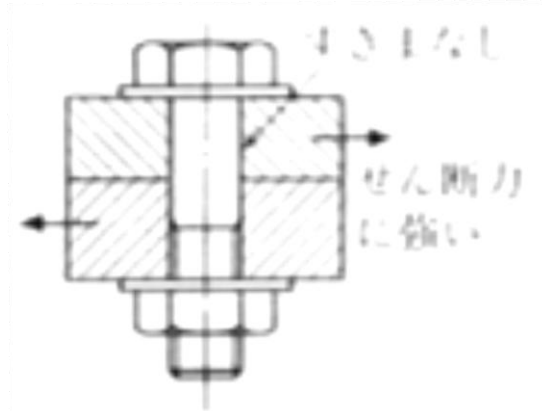
通しボルト	呼び径より少し大きな下穴	ねじ締結力のみが作用する
通しリーマボルト	呼び径(非ねじ部)と同寸の下穴, はめあい公差など寸法精度を要す	剪断方向の力をボルトで受ける, ある程度の位置決め精度が確保可能
通しロッド	両端にねじを設けた棒により締結	組み立て手順, 現物に合わせてねじを選択可能
押さえボルト	構造材にめねじ加工してボルトで締結	部品点数を減らしコンパクトに設計
植込みボルト	構造材にめねじ加工, 両端にねじを設けた棒により締結	ねじ破損の可能性がある場合, 構造材のダメージを減少



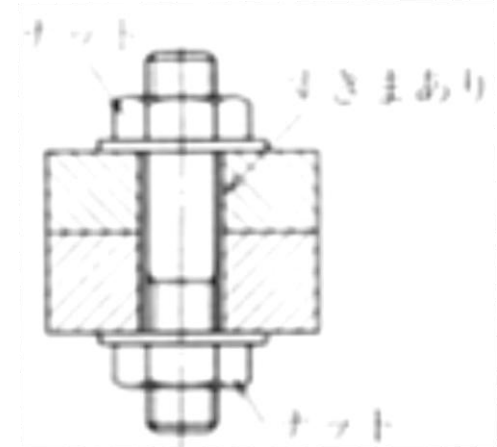
# ボルトによる部材締結法（拡大図）



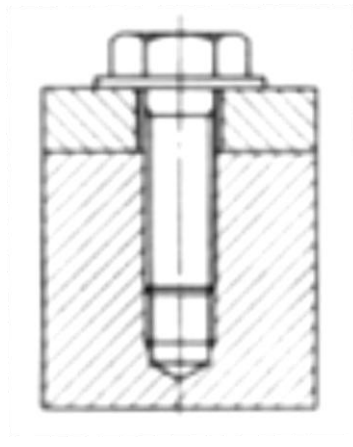
通しボルト



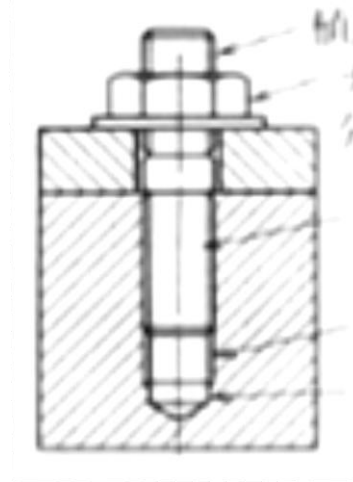
通しリーマボルト



通しロッド



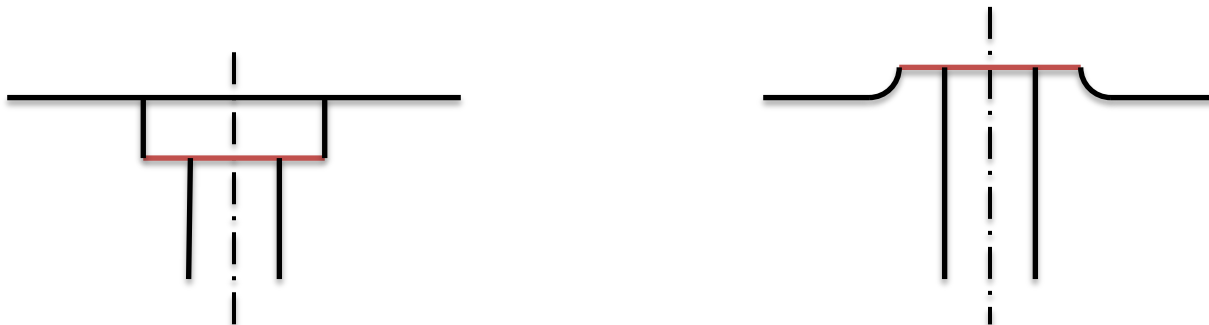
押さえボルト



植込みボルト

# ねじ接触部付近の設計ポイント

- ボルト頭, ナット, 座金の接触面は一定の寸法精度, 表面粗さを指定 (直角も重要)
  - 鋳肌をそのままにすると凸部のみ接触
    - 局所的に面圧が高くなる
    - 抜き勾配により軸が曲がったり, 面圧が偏る
    - 締め付けるときにずれなどの原因となる
- 以下のような設計を行うことで仕上げ面を最小限に抑えられる

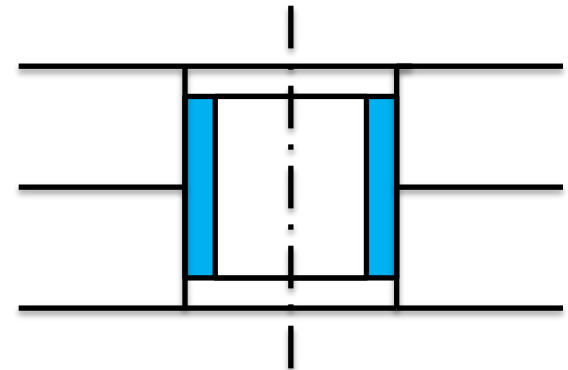
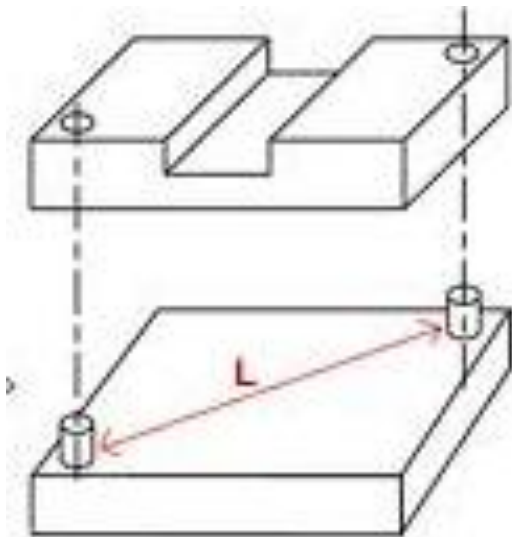


# 押さえボルトの設計ポイント

- 可能な限り、ねじ穴も**通し穴**で設計
  - 加工が簡単（早い，高精度）
  - 切り屑が的確に排出される
- 通し穴にしない必要があるれば，迷わず通し穴にしない設計を選択
  - ねじ穴側の構造部材が厚い場合
  - 気密性の確保が必要な場合（シールをわざわざ使いたくない場合）
  - 貫通させることにより，バリ取りの工程がむしろ増えたり，外観を損ねる場合

# 設計の注意点：位置決め

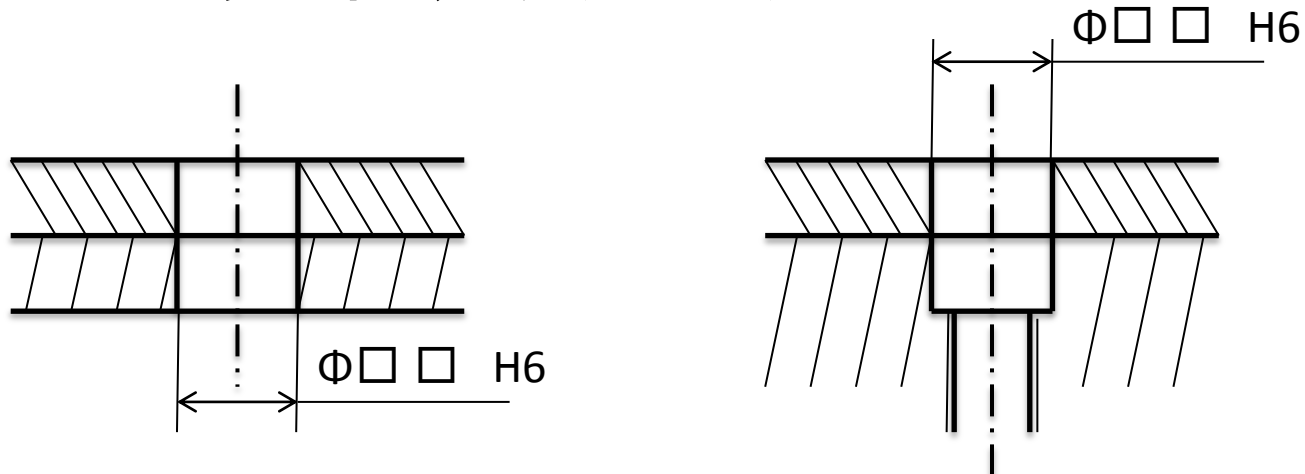
- **ねじの締結力(軸力)による摩擦力で剪断方向(接線方向)の力を支えることはできない。**
  1. 部品形状の工夫(精度を決めた凹凸, 突き当て)
  2. ピンによる位置決め(穴, 突き当て)
  3. スリーブによる位置決め(ねじ穴と兼用できる)



ねじ頭, ナット, 座金の有効接触面積が減少するので, 強い締結には適さない

# リーマボルトの利用の工夫

- 非ねじ部の寸法精度（はめあい，真円度など）を確保し，表面粗さを細かくしたねじ
- 締結力および剪断力（接線方向）によって部品同士を固定
- 回転支持の軸として機能する製品もある
- 以下のような固定法で利用





# その他の ねじ締結

## かしめボルト

- ボルトの頭を部材に押し付け, かしめて固定
- 加工後は部材に固定されるが, 外力によっては外れる

## 溶接ボルト

- ボルトの頭と部材を接触させ通電しスポット溶接
- 加工後は部材と一体となる

# ねじ本体とねじの選定法

# ねじの利用

- 螺旋形状を利用
- (繰り返し組み立て分解が可能)
- 幾何的な形状として締結可能
- 変形と摩擦を利用して緩まない締結が可能
  - 軸方向に対し、リードは十分に小さく、締結力に対し、**摩擦力だけで保持可能**
  - **締め付けることでねじがばねとして作用するため摩擦力が大き**くでき、緩まない

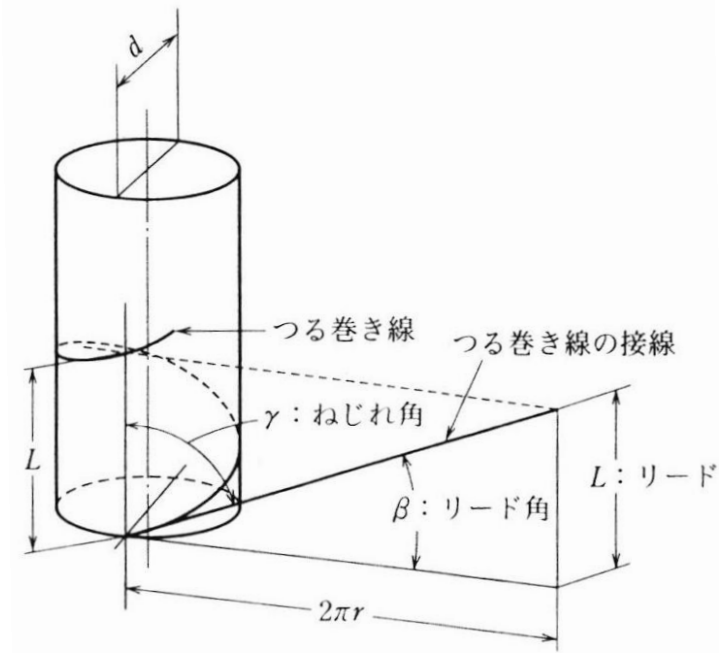


図 3・1 ねじの形状

# 多条ねじと回転方向

ねじの回転を使って並進運動させる場合(送り)など, リードを大きく取りたいときに使う

機械の回転方向により, 緩みにくい方向を選択する(通常は右ねじ)

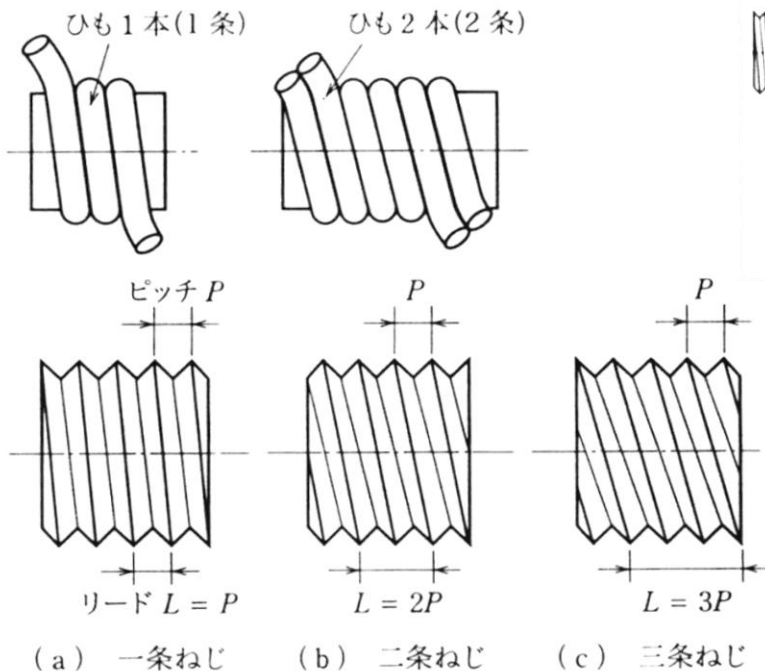


図 3-3 一条ねじと多条ねじ

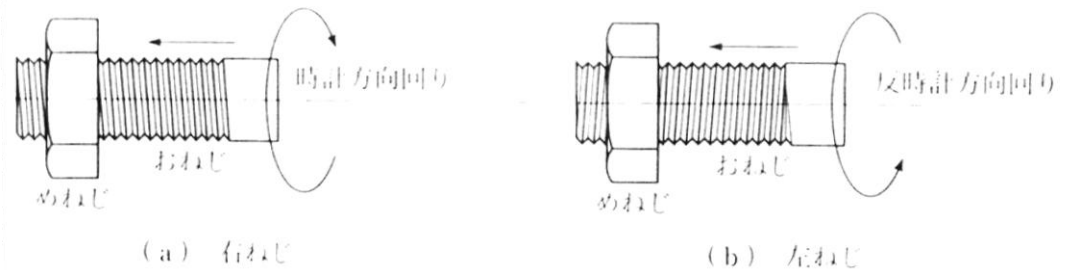


図 3-4 右ねじと左ねじ

# ねじの形状と分類

表 3・1 ねじの種類を表す記号およびねじの呼びの表し方の例

区 分	ねじの種類		ねじの種類 を表す記号	ねじの呼びの 表し方の例	引用規格
ピッチを mm で 表すねじ	メートル並目ねじ		M	M8	JIS B 0205
	メートル細目ねじ			M8×1	JIS B 0207
	ミニチュアねじ		S	S0.5	JIS B 0201
	メートル台形ねじ		Tr	Tr10×2	JIS B 0216
ピッチを山数で表 すねじ	管用テーパねじ	テーパおねじ	R	R 3/4	JIS B 0203
		テーパめねじ	Rc	Rc 3/4	
		平行めねじ	Rp	Rp 3/4	
	管用平行ねじ		G	G 1/2	JIS B 0202
	ユニファイ並目ねじ		UNG	3/8 - 16UNC	JIS B 0206
	ユニファイ細目ねじ		UNF	No.8 - 36UNF	JIS B 0208



※1通常の機械 ※2精密な機械 ※3油圧・空圧機械

# どのねじで設計すべきか？

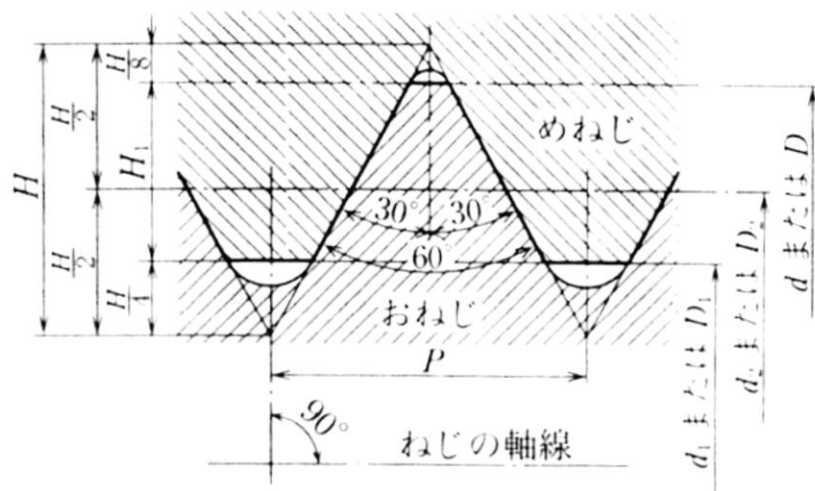
例	ねじの種類	主な使い方	備考
1	メートル並目ねじ	通常はこれを選択. 種類が豊富で安価	高耐力ボルトなど強度を上げたねじも存在
2	メートル細目ねじ	ねじ経が大きい, ねじ長が確保できない, 締結部のスペースが少ない, 送り量を小さくしたい時などに利用	既製品で用意されているものは限定されており, 新たに製作する必要性
3	管用テーパねじ	流体の流路, 栓など密封できることが望まれる場合に利用	流体の物性, 圧力などを勘案し, シール材併用, あるいはフランジを利用した設計も考慮

※ 0.3~1.4mmのものはミニチュア並目ねじと呼ぶ

# 選び方

1. 基本はメートル並目ねじを利用した設計を前提
2. 締結条件, 運用条件により強度計算を行い選定
  1. ねじに求める機能を勘案
  2. ねじとナットだけで考えるだけでは不十分, 構造部材との関係も考慮
3. 機械の機能, 寸法的な制約により, 必要性が生じた場合は迷わずメートル並目ねじ以外を選定
  1. メートル並目ねじで済む方法がないかどうか併せて検討(高強度ねじも存在)
  2. ねじ頭の高さ, 直径も標準的な規格以外のものも存在

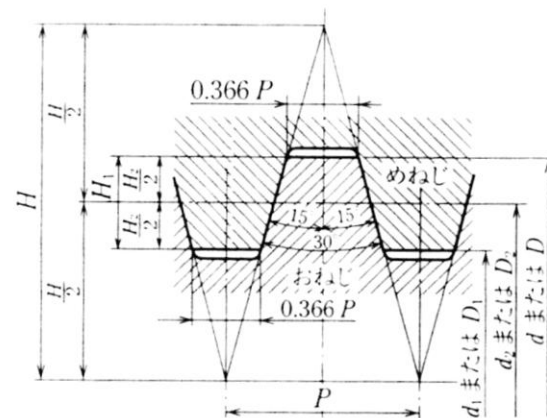
# ねじ山形状



基準寸法の算出に用いる公式は、つぎによる。

$$\begin{aligned}
 H &= 0.866025P & d_2 &= d - 0.649519P & D &= d \\
 H_1 &= 0.541266P & d_1 &= d - 1.082532P & D_2 &= d_2 \\
 & & & & D_1 &= d_1
 \end{aligned}$$

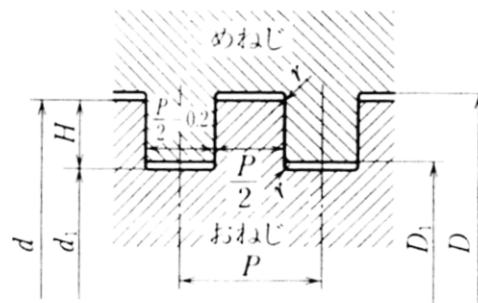
(a) 三角ねじ (メートルねじ、ユニ)



メートル台形ねじの基準寸法の算出に用いる公式は、つぎによる。

$$\begin{aligned}
 H &= 1.866P & d_2 &= d - 0.5P & D &= d \\
 H_1 &= 0.5P & d_1 &= d - P & D_2 &= d_2 \\
 & & & & D_1 &= d_1
 \end{aligned}$$

(c) 台形ねじ (JIS B 0216)



$$P = 0.09d + 2 \text{ mm} \quad H = P/2 \quad r = P/20$$

(d) 角ねじの一例

※ 電球の口金や容器のキャップなど丸ねじが用いられる場合もある



# 呼び径，有効径，谷径

呼び径	おねじの山の先の径d	おねじの外径が呼び径 例えばM12は，おねじの先の径がφ12であることを示す.
有効径	$d - 0.659419 P$	ねじを組み合わせた際のおねじの山とめねじの山の間径 ねじを回す際の運動を考えるとときなど，この径が基準
谷径	$d - 1.082535 P$	おねじの谷の部分を示す. おねじのいちばん細い部分であるため，ねじ部の強度計算の基準となる部分

おねじの山とめねじの谷，めねじの山とおねじの谷の径は一致しないのが通常.

# ねじ形状と用途の違い

1. 締結用ねじの基本は三角ねじ
2. 並進運動(送り)などの運動用ねじは台形ねじや角ねじを利用
3. ジャッキやプレス(ねじ機構を用いるタイプ)にはねじ山強度確保のため、台形ねじや角ねじを利用
4. 三角ねじを並進運動(送り)などの運動用に用いる場合は、負荷が小さく、精密な小型機構に限る

## (a) メートルねじ、ユニファイねじ、管用ねじ

ねじの呼び	-	ねじの等級	-	ねじ山の 巻き方向	(説明)
M8	-	6g			メートル並目ねじ M8 等級 6g のおねじ
M14×1.5	-	5H			メートル細目ねじ M14×1.5 等級 5H のめねじ
M8×L2.5P1.25	-	7H	-	LH	左二条メートル並目ねじ M8 等級 7H のめねじ
S0.5	-	3G6/5h3			ミニチュアねじ S0.5 等級 3G6 のめねじと 等級 5h3 のおねじとの組合せ
R1 1/2			-	LH	左一条管用テーパねじ R1 1/2 のテーパおねじ
G 1/2	-	A			管用平行ねじ G 1/2 等級 A のおねじ

## (b) メートル台形ねじ

ねじの呼び	ねじ山の 巻き方向	-	ねじの等級	(説明)
Tr 40×7		-	7H	メートル台形ねじ Tr 40×7 等級 7H のめねじ
Tr 40×14 (P7)	LH	-	7e	左二条メートル台形ねじ Tr 40 ピッチ 7 リード 14 等級 7e のめねじ

# はめあい等級

はめあい区分	用途	メートル並目ねじ(おねじ)	
		ISOの等級	従来の等級
精	特に遊びの少ない精密ねじ	4h	1級
中	機械・器具・構造体などに用いる一般用ねじ	6g	2級
粗	建設工事、すえ付けなど汚れや傷がつきやすい環境で使われるねじ	8g	3級

# ねじの呼び

- 例1) M14×1.5-5h

外径φ14, ピッチ1.5のメートル細目ねじ, 等級  
(はめあい精度)5h相当を保証するおねじ

- 例2) M3

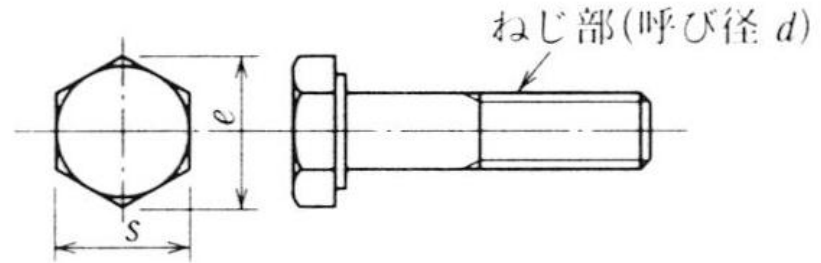
外径φ3のメートル並目ねじ

但し, 表記されていないなくても, ピッチ0.5, 等級は  
6g(6H)相当を保証するおねじ(めねじ)であると  
読むことができる

# ボルトにおけるねじ部形状

## 1. 呼び径六角ボルト

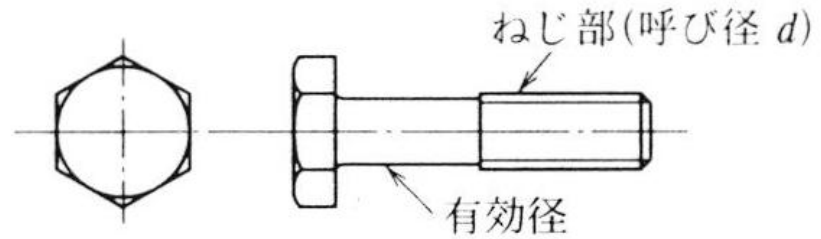
- 円筒部がねじの外径と同等



(a) 呼び径六角ボルト

## 2. 有効径六角ボルト

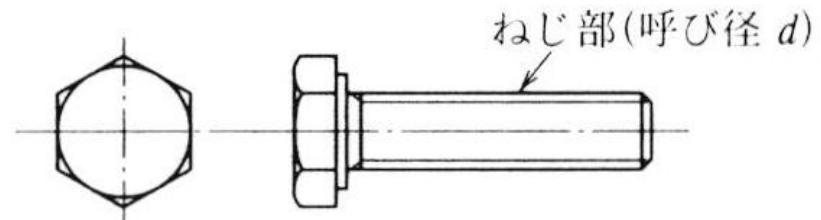
- 円筒部がねじの有効径と同等



(b) 有効径六角ボルト

## 3. 全ねじ六角ボルト

- 円筒部がなく、首の所までねじとなっている
- 但し、2~3ピッチは不完全ねじ部

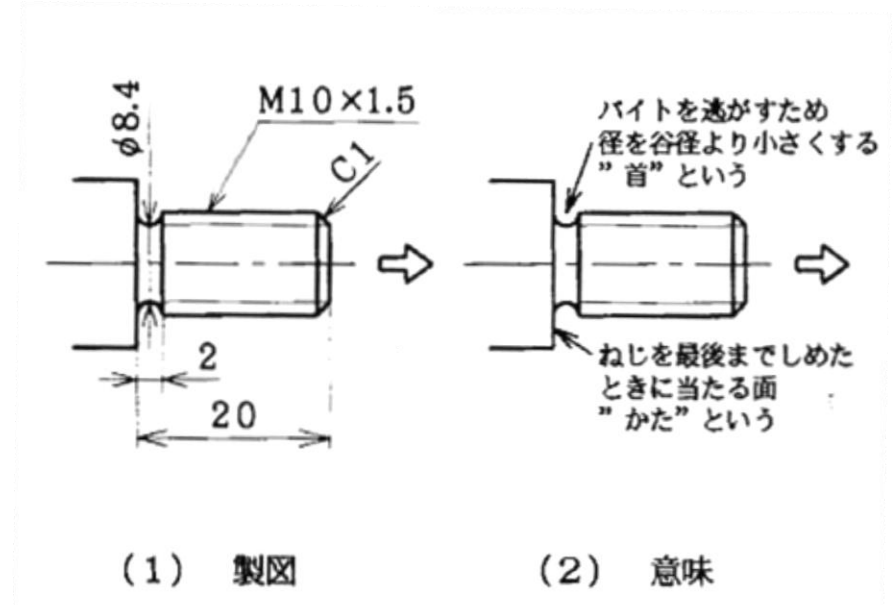
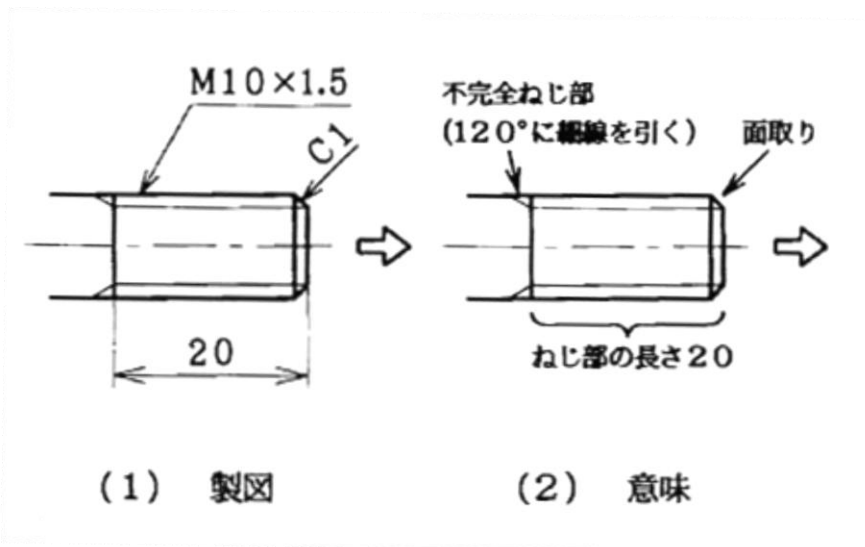


(c) 全ねじ六角ボルト

図 3・6 六角ボルトの種類

# ねじ部の形状・加工

- 不完全ねじ部が生じる形状
- ナット等がねじ部いっぱいまで到達しないように利用
- 不完全ねじ部を生じさせないための逃げ
- めねじを切った部品またはナットで締結される部品は段まで突き当たる



# 強度区分

- JIS規格の10種類の強度規格

3.6 4.6 4.8 5.6 5.8 6.8 8.8 9.8 10.9 12.9

## 例) 「12.9」の表示の意味

- 小数点の左の12という数字は最小引張応力「1.2GPaまで破断しない」
- 小数点の右側の9という数字は弾性変形域を表し, この場合1.2GPaの90%(1.08GPa)までは延びても元に戻る(降伏荷重または耐力)
- 弾性変形の数値をこえると塑性変形



# 強度区分

強度区分	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8	10.9	12.9
							16未満	16以上			
呼び引張強さ (N/m <sup>2</sup> )	300	400		500		600	800	800	900	1000	1200
最小引張強さ (N/m <sup>2</sup> )	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
降伏点 (N/m <sup>2</sup> )	180	240	320	300	400	480	640		720	900	1080

# 強度区分 (JIS旧規格)

	4T	5T	6T	8T	10T	12T
最小引張強さ (N/m <sup>2</sup> )	400	500	600	800	1000	1200

- 1999年4月1日で廃止
- 最小引張強度のみを示した表記法
- わざわざこれを使う必要はないが、今でも稀にこの規格を目にすることもあり、古い機械のメンテナンスに必要となることがある。

# 参考（注意）

- JISにないが、T系列と呼ばれる区分あり
- 強度区分とは異なる点に注意
- 一般の締め付けトルクに対して、何倍で締めるかを示した簡易的な区分
- 以下のような用途で分類
  - T: (4.6～6.6が相当): 一般
  - 0.5T : (相当なし): 電子製品
  - 1.8T: (8.8～12.9が相当): エンジンや車両
  - 2.4T: (10.9～12.9が相当): 建設

# おねじ長さとおめねじ長さの関係

- 簡略的には、おねじ呼び径の1.2倍以上のおめねじ深さを確保
  - おめねじには通常口面取りが施されるためネジの有効長さが減るために安全を取る。
  - 倍率はおめねじの材質にも依存。1.2はSS400を想定

表 10.11 ねじ込みの深さ

めねじ材質		荷重の種類		$X_1, X_2$	
		静止・軽荷重	振動・衝撃・重荷重		
B 部 品	弱い材質	S10C以下 鋳鉄 青銅	$H \geq 1.5M$	$H \geq 2.0M$	$X_1 = 0.4M$ $X_2 \geq 0.5M$
	強い材質	SS400(SS41) S45C SCM	$H \geq 1.0M$	$H \geq 1.5M$	

口面取りを考慮していません。

例) おめねじ側の材料が弱かったり、使用条件が厳しい場合、余裕を確保し、2.2倍くらいの長さとする。

ねじ利用の信頼性向上

# ねじの破壊の原因

	破壊の原因	対処
軸方向の引っ張り強度	締め付けによる軸方向の力による破壊	呼び径の拡大(断面積拡大)
ねじ山の剪断強度	おねじ, めねじの長さが不十分による破壊.	十分なねじ長さを確保
部材の剪断方向力	ねじ軸に対する剪断方向の力による破壊. 構造や組み立て状態の設計ミス.	剪断方向力を形状やピン等で受けるような設計
ねじ軸に対するねじりトルク	ねじ軸に対するトルクによる破壊(微小部分では剪断力). 組み立て時の不適切なトルクによる.	工具の選定, トルク管理の適正化 呼び径の拡大(断面積拡大)

# (参考)ねじ締結

- ねじ締結の管理

- 想定した条件(使用状態, 期間)で緩まないことを目的
- 締め付けトルクによる管理を行う
  - 分解組み立てを繰り返してもねじの再利用が可能
  - 実際には軸力にはばらつきが生じる

- 塑性域角度法

- ねじ, ナットが部品に接触してから, **回転角を決めて締結**
- 塑性域に達するまで締め付け, 高い締結力と信頼性(緩まない)
- ねじの再利用は不可(的確な管理で3回は再利用可)
- 塑性域に入ったことを計測する装置を組み合わせる必要
- 回転角を弾性域にとどめて分解組み立てを繰り返してもねじの再利用が可能な弾性域角度法もある

# 塑性域角度法

- 機械設計製図2でディーゼルエンジンの設計

設計上、大端部を2分割せざるを得ない

求められる性質  
ピストン・コンロッドの強力な慣性力に耐える  
大端部の強い締結  
大端部の高精度な締結(組立再現性)

回転角を管理  
して組み立て

信頼性を上げるための性質  
繰り返し荷重・振動で緩まない  
構造のへたり(クリープ)で緩まない

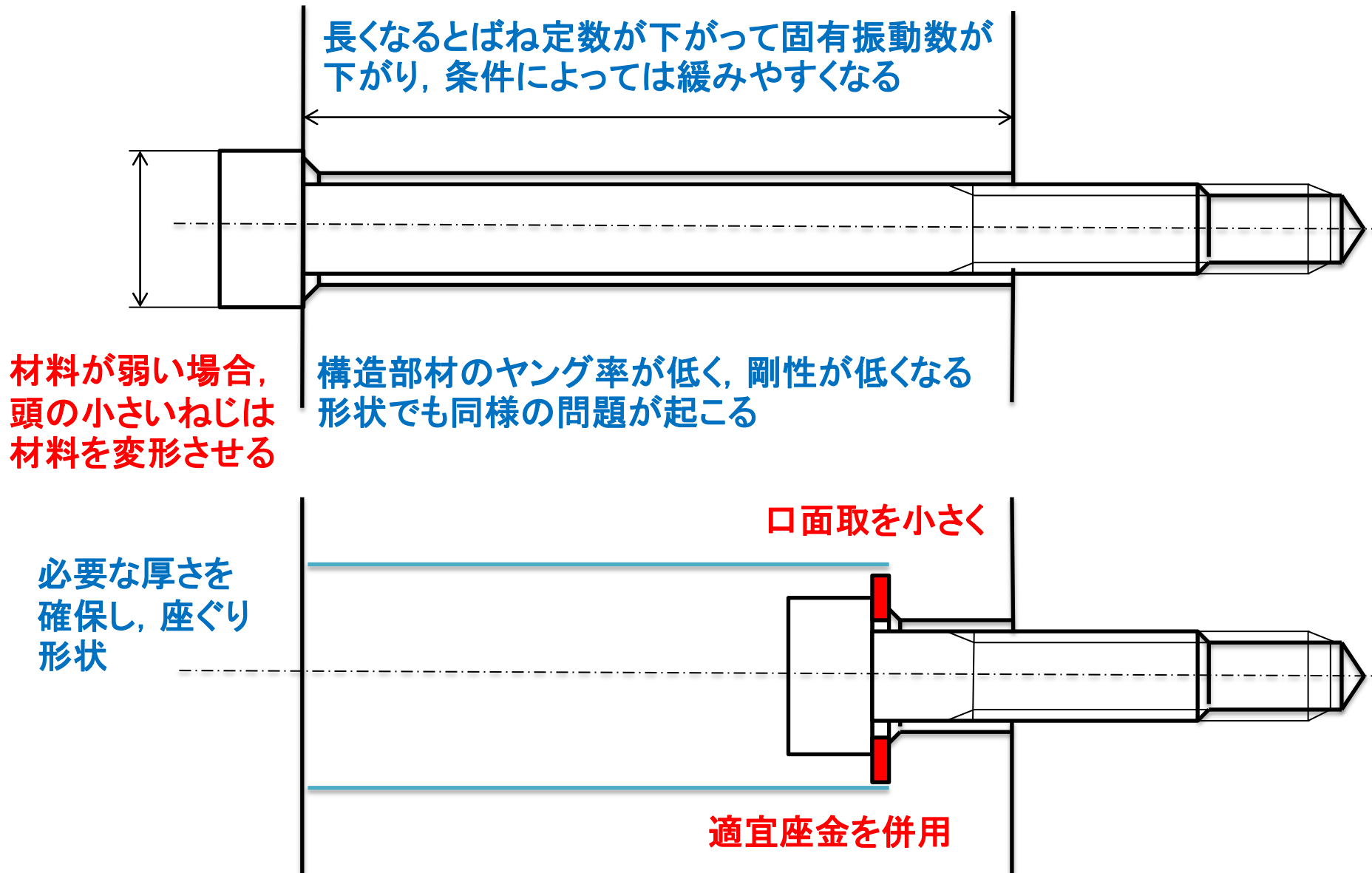
被締結物の特性も影響  
締結力で変形するため条件を決め、  
再現性を確保する必要性(作業標準)



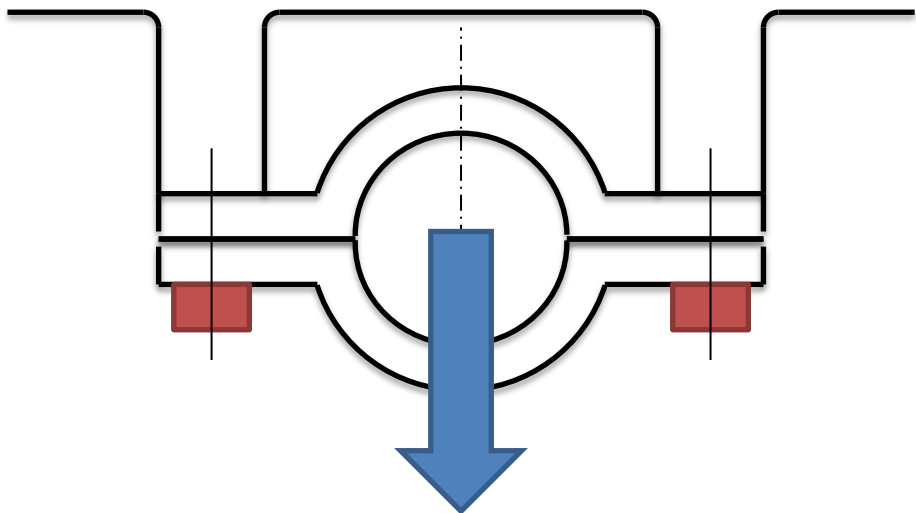
# 緩み止め

ダブルナット	ナット2枚重ね, 相互締結
ばね座金の利用	ばね座金のばね性と切り欠き形状の効果
Uナット	埋め込まれた薄板のばね性を利用
歯付き座金ナット	座金の凹凸による摩擦
ナイロンインサートナット	埋め込まれた樹脂の摩擦を利用
溝付きナット	割りピンとの組み合わせ
舌付き座金	座金の一部を曲げて固定
ねじロック剤	接着
ハードロックナット	ダブルナットと楔効果

# 参考) ねじ強度以外でも注意すべき点



# 参考) ねじ強度以外でも注意すべき点

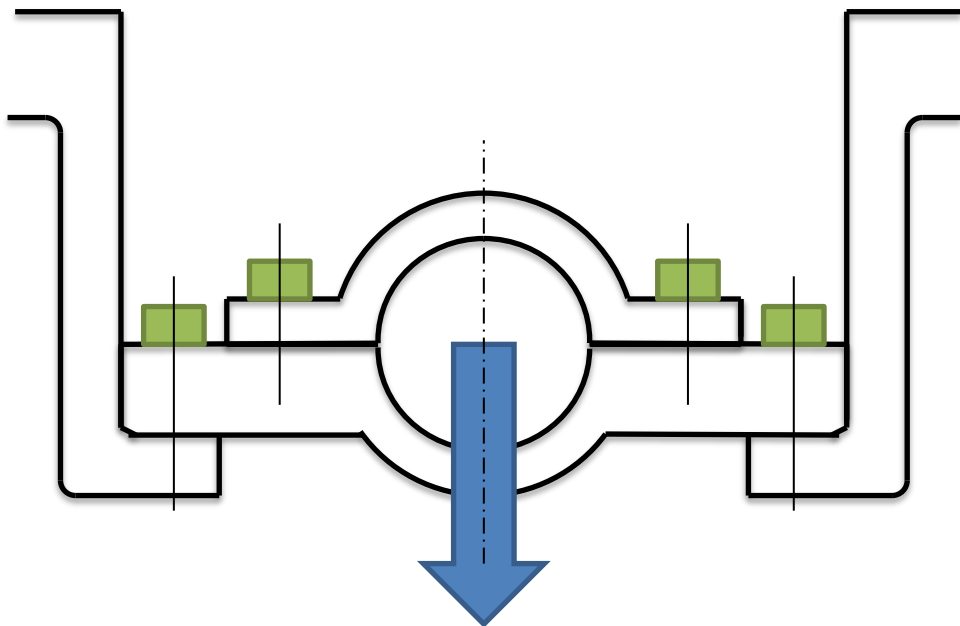


## 設計上良くない点

- ねじで3つの部品を固定
- 荷重がねじの引張方向に加わる
- 中心軸からねじ支持部までの距離が大きい

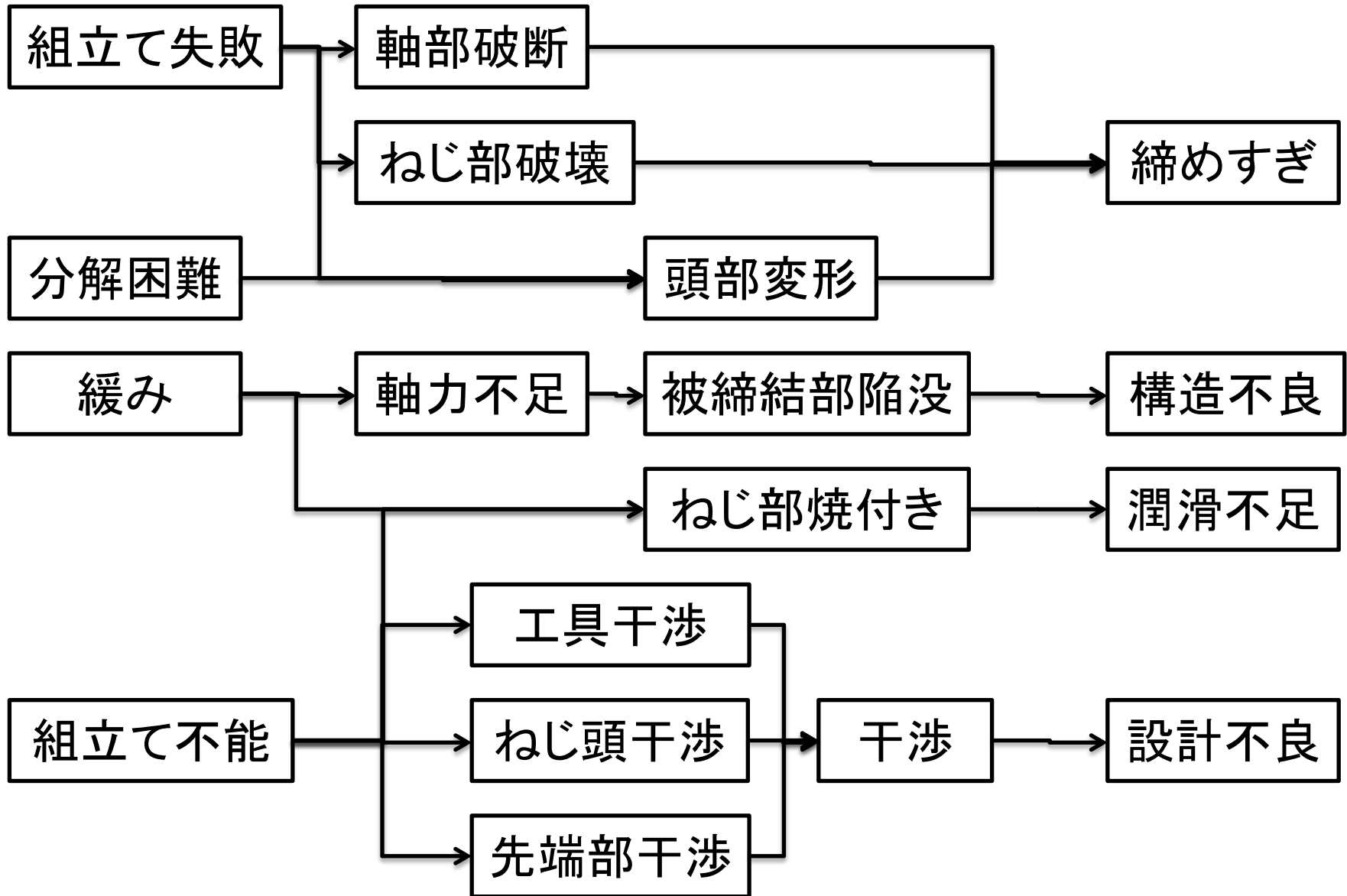
## 改善点

- ねじは2つの部品を固定
- 荷重を構造部品で支持
- 中心軸からねじ支持部までの距離を縮小
- 組み立て法, 工具を変更

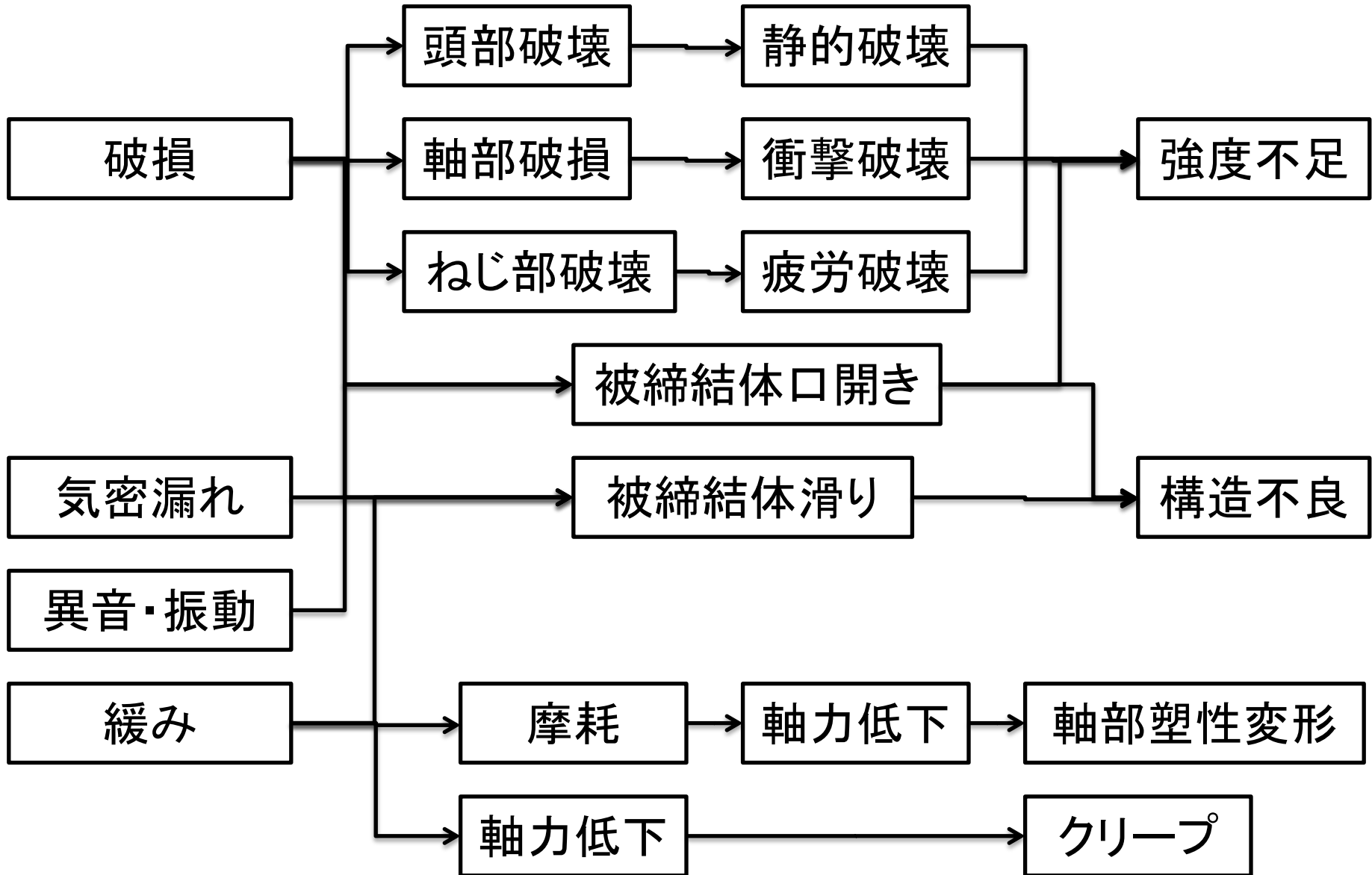


# 参考) ねじに荷重が かかる前提の設計例

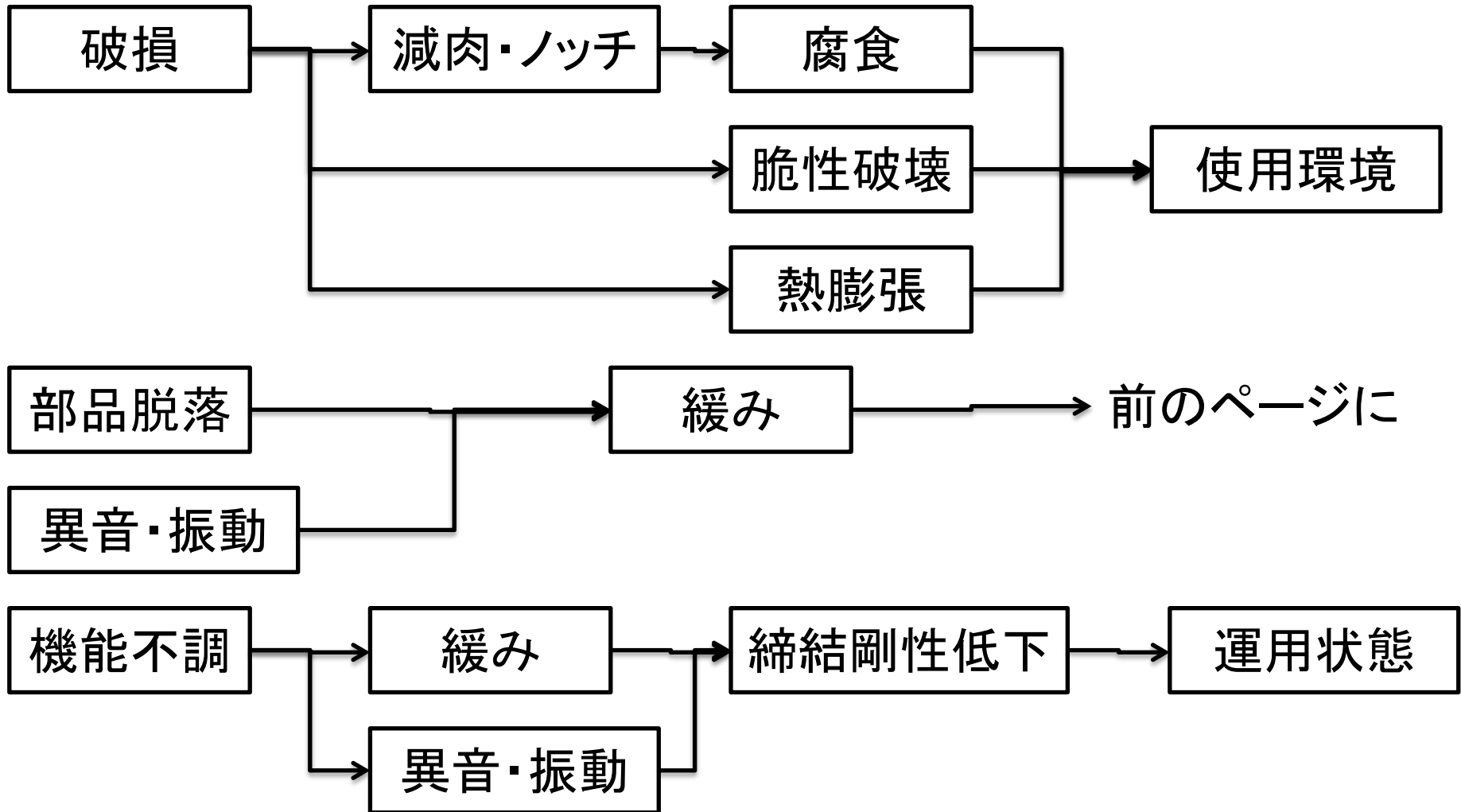
# 締結ねじの不具合（設計・組立て時）



# 締結ねじの不具合（組立後，設計起因）



# 締結ねじの不具合（組立後，運用起因）



緩まない離れないねじ締結



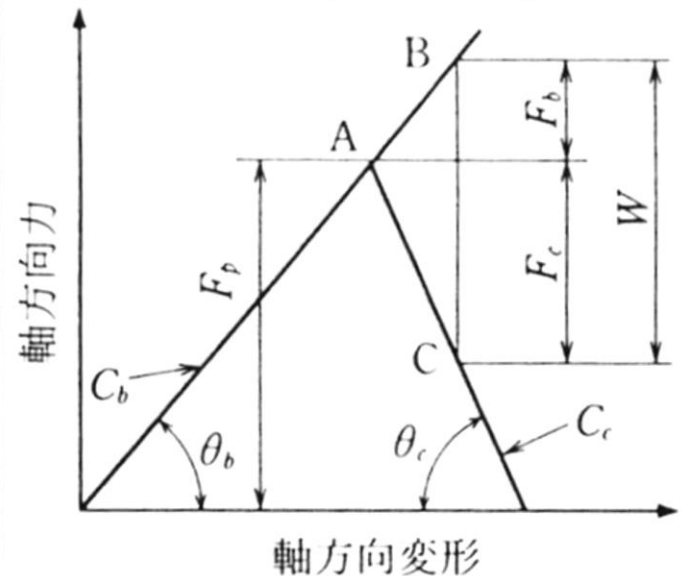
# (1) 内外力比

- 被締結部品を引き剥がそうとする外力が働く。
  - 外力荷重はねじの軸力に加わる
  - 外力荷重は被締結材の締結力を減じる

## (対策)

- 外力荷重分を加えた軸力(締結力)の確保
- 外力荷重が大きければ、呼び径や本数を拡大

ねじにとっては条件が厳しくなる



$$C_b = \tan \theta_b \quad C_c = \tan \theta_c$$

図 3・20 締付け線図

## (2)ねじのばね性

### ねじに関する変形箇所

1. ねじ頭
  2. 円筒部(ねじのない部分)
  3. 不完全ねじ部(円筒部に含める)
  4. ねじ部(有効断面積)
  5. ナット
- 簡易的には円筒部とねじ部の断面積と長さで考えるだけで充分



# (3) 被締結物のばね性

- 被締結物の方が縦弾性係数が低い
- 厚さだけでなく形状の影響
- 近似式だが複雑な計算を要す

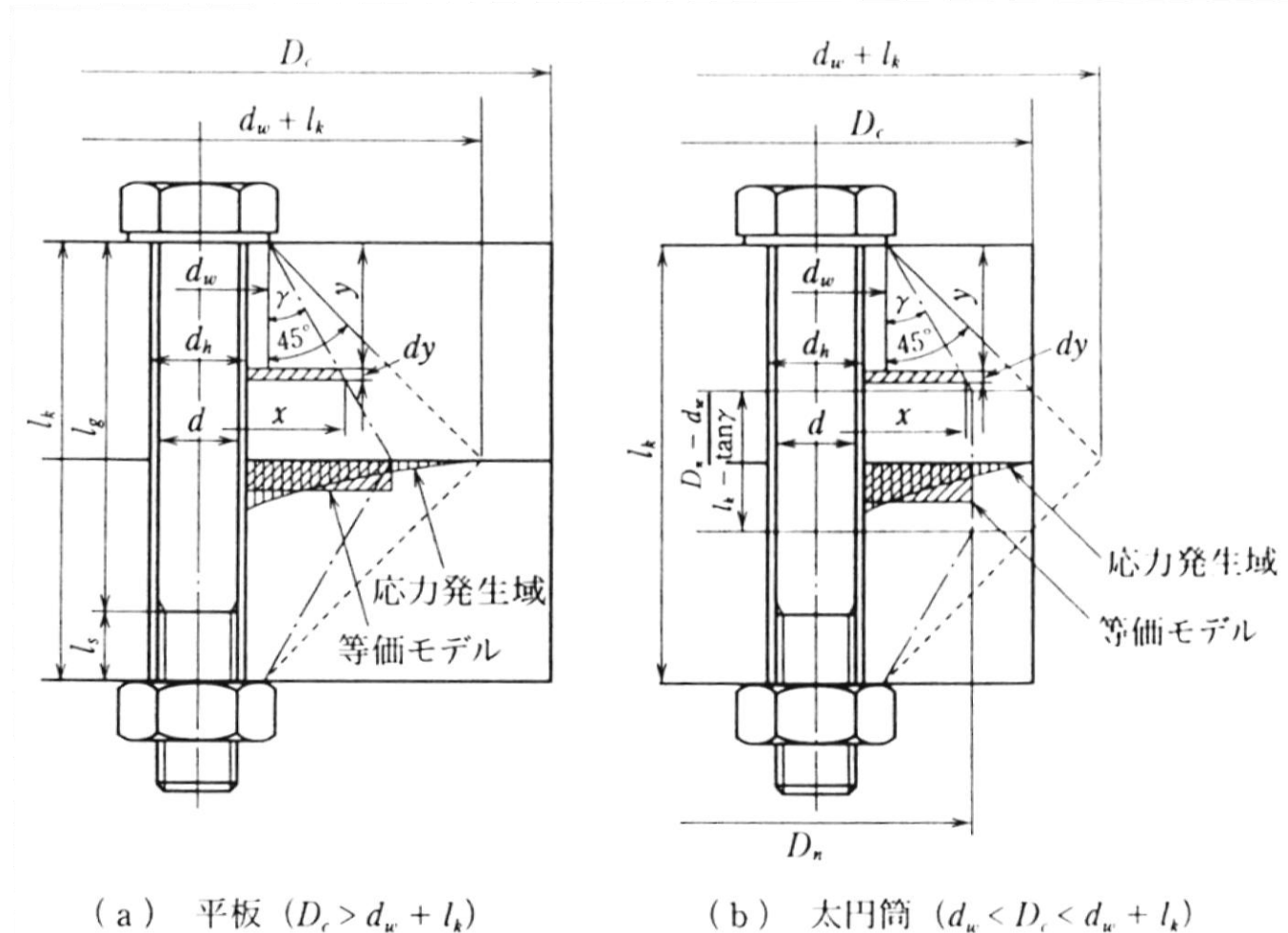


図 3・21 等価モデルによるばね定数の近似計算法

## (4) クリープ, へたり

### 1. クリープ

- ねじ材料の特性として荷重が掛かった初期に変形が進むことがある

### 2. へたり

- 荷重を受け続けた被締結物の接合面その他が変形(微細な凹凸が解消)する
- これらにより軸力が減少することがある.
- 緩みや離反の原因になったり, 増し締めなどの工数増大につながる

# (5) 被締結材が離れない条件

## 検討すべき条件

- 外力荷重(軸方向成分)
- 締結状態のコンプライアンス ※
  - ねじのばね性
  - 被締結材のばね性
- へたり

**最低**軸力を決定する必要がある

外力荷重 +  $\frac{\text{外力荷重} \times 0.2}{\text{余裕分}}$  + へたりによって減じる軸力

※これにより、単に回転角を決めても必要な軸力が得られない可能性があることを考慮すべき

# ねじの疲労

## 1. ねじ製造, 加工法に起因

- 転造, 切削などにより表面の切り欠きが変わる

## 2. 外力パターンに起因

- 方振り, 両振り, あるいはその振幅, 衝撃など

## 3. ねじへの信頼性

- 疲れ強さに対する信頼度を95%とするかそれ以上とするかにより係数が変化

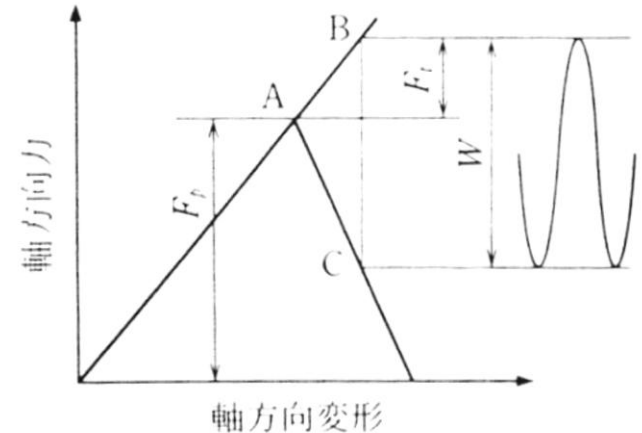


図 3・28 外部変動荷重  $W$  が加わった場合の締付け線図

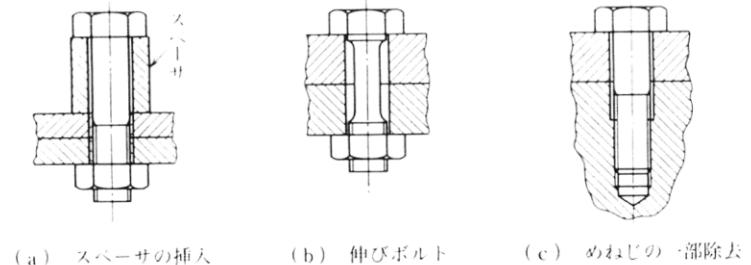


図 3・29 ボルトのばね定数  $C_b$  を小さくする方法

# 演習

- 1) 2) はできる限り授業中に解いて提出(途中でも構わない)
- 残り3) 4) はレポートとし4305のポストに提出のこと. 今週中を締切とする.

なお, 解答・解説は近日中に以下のURLに記載する.

[http://www.isc.meiji.ac.jp/~mcelab/yohso\\_sekkei/yohso\\_sekkei\\_j.htm](http://www.isc.meiji.ac.jp/~mcelab/yohso_sekkei/yohso_sekkei_j.htm)