締結部品 · 軸力 · 締付けトルク · 強度区分 · ねじのかみ合い長さ · 技術資料 · 公開

ボルト締結 技術資料

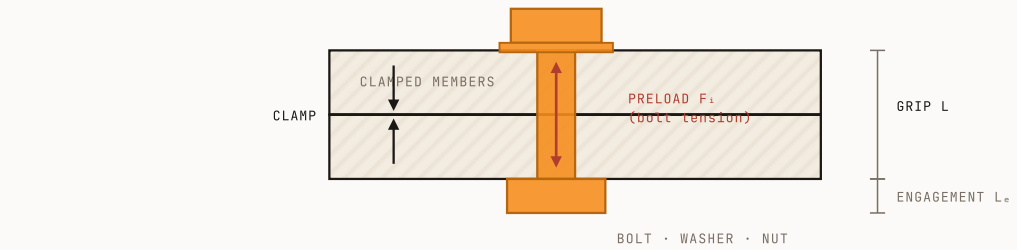
軸力を中心にボルト締結体を設計する — 強度区分、トルクと軸力の関係、ねじのかみ合い長さ、ゆるみ止め、そして締付力の設定を誤ることで生じる破損モード。

改訂	発行	作成	付属資料
1.0	June 2026	Ideambox エンジニアリング	PDF技術資料

概要

ボルト締結体は、ボルトをせん断ピンとして働かせるのではなく、軸力（締付力）によって荷重を伝える。ボルトを締め付けると伸び、その蓄えられた張力が被締結部材を締め付ける。被締結部材はボルトよりはるかに剛いため、外部引張荷重の大半はボルト応力の増加ではなく締付力の減少に回る — だからこそ、適切に軸力を与えた締結体はほとんど疲労の影響を受けず、自然にゆるむこともない。

第1節では締結体の働きを説明する。第2節は強度区分と材料、第3節は軸力と締付け（トルクと軸力の関係、トルク係数、締付け方法の精度）を扱う。第4節はねじのかみ合い長さとねじ山のせん断破壊、第5節は締結体の設計指針、第6節はゆるみとゆるみ止め、第7節は破損モードと締付けチェックリストである。



ボルト締結体とは、引張を受ける剛いばねが、はるかに剛い圧縮ばねを締め付けている系である。繰返し荷重を受け持ち、振動によるゆるみを止めるのは軸力であって、ボルトの静的強度ではない。

目次

1. ボルト締結体の働き
2. 強度区分と材料
3. 軸力と締付け
4. ねじのかみ合い長さとねじ山のせん断破壊
5. 締結体の設計指針
6. ゆるみとゆるみ止め
7. 破損モードとチェックリスト

1. ボルト締結体の働き

ボルトを締め付けるとばねのように伸びる。蓄えられた張力が**軸力**（F_i）であり、被締結部材に生じる同じ大きさで逆向きの圧縮力が**締付力**である。無負荷時には両者はつり合っている。

外部引張荷重 F_e が加わると、それはボルトと被締結部材にその剛性に比例して*分担*される。被締結部材は細いボルトよりはるかに剛いため、ボルトが受け持つのはごく一部だけである — これが**内力係数** Φ = k_bolt / (k_bolt + k_members) であり、通常 0.1–0.3 である。F_e の残りは締付力を減らすだけである。したがって高い軸力を与えたボルトは、繰返し荷重下でも応力*振幅*が小さい — これが疲労寿命の鍵であり、F_e が軸力を超えない限り締結体は締め付けられたままである。

1.1 主要用語

軸力（F_i）	締付け後のボルト張力 — 外部荷重ゼロ時の締付力
保証荷重	ボルトが永久伸びを生じずに耐える最大張力（設計上の上限）
有効断面積（A_s）	応力計算に用いるねじ部の有効面積（呼び径 Ø ではない）
内力係数（Φ）	外部荷重のうちボルト張力に加わる割合（k_bolt / (k_bolt + k_members)）
締付け長さ（グリップ長さ）	頭部座面からナット座面までの被締結部材の厚さ
強度区分	頭部に表示される強度等級（例：8.8、10.9）

設計の目安：**軸力は高く（保証荷重の約75%）、外部荷重は軸力未満に抑え、ボルトに伸びるだけの締付け長さを与える。** この3つの判断で大半の締結体は決まる。

2. 強度区分と材料

鋼製メートルボルトは**強度区分**で等級付けされ、頭部に表示される。最初の数字 ×100 ≈ 引張強さ（MPa）、2番目の数字 ×10 ≈ 引張強さに対する降伏点の割合（%）である。

強度区分	保証荷重応力 S_p（MPa）	0.2% 耐力（MPa）	引張強さ S_u（MPa）	備考
4.8	310	340	420	低炭素鋼、一般用
8.8	580 (≤M16) / 600	640	800	中炭素鋼、焼入れ焼戻し — 主力
10.9	830	940	1040	合金鋼の焼入れ焼戻し、小型・高荷重
12.9	970	1100	1220	規格上の最高区分；脆化に敏感
A2-70（304 SS／SUS304）	—	450	700	オーステナイト系ステンレス鋼、冷間加工
A4-80（316 SS／SUS316）	—	600	800	海洋／耐食用途

標準は 8.8 とし、スペースの制約でより小さく高強度のボルトが必要な場合に限り 10.9/12.9 に上げる — 高強度品にめっきする場合は水素脆化に注意する。ステンレス（A2/A4）は強度と引換えに耐食性を得るもので、無潤滑で締め付けるとかじりやすい。

3. 軸力と締付け

再使用する締結体の目標軸力は通常**保証荷重の約75%**である：$F_i = 0.75 \cdot S_p \cdot A_s$。恒久的な降伏域締付けの締結体ではさらに高くする。

トルクは、その張力に到達するための一般的だが間接的な手段である：

$T = K \cdot F_i \cdot d$ — ここで d は呼び径、**K** はトルク係数であり、頭部座面とねじ部の摩擦が支配的である。

ねじ部／座面の状態	トルク係数 K
清浄・乾燥の鋼	0.20–0.30（ステンレスはかじる）
受入れ状態、軽い油	0.20（標準の仮定）
亜鉛めっき	0.20–0.22
黒染め	0.15
油／グリース潤滑	0.12–0.15
MoS_2／焼付き防止剤／ワックス	0.10–0.12
PTFE コーティング	0.10–0.12

K が大きくばらつくため、**トルクで軸力を設定するとばらつきが大きい** — 潤滑状態はレンチと同じくらい重要である：

締付け方法	軸力のばらつき
手感覚によるトルク	±35%
校正済みトルクレンチ	±25%
トルク＋回転角（回転角法）	±15%
降伏点締付け法	±8%
ボルト伸び測定／超音波／テンショナ	±3–10%

締付けトルクの目安、強度区分 8.8、K = 0.20、保証荷重の約75%（使用する K での正確な値は *Screw torque & preload* ツールを用いる）：

呼び	締付けトルク（N·M）	呼び	締付けトルク（N·M）
M3	1.3	M8	25
M4	3.0	M10	51
M5	6.0	M12	89
M6	10.5	M16	215

強度区分 10.9 は約1.4倍、12.9 は約1.7倍とする。潤滑条件は常に一定にすること。そうでなければ同じトルクでも軸力は大きく異なる。

4. ねじのかみ合い長さとねじ山のせん断破壊

ねじ山がせん断破壊する前にボルトが破断するようにかみ合い長さを決める — ボルトの破断は延性的で目に見えるが、ねじ山の破壊は気づかれずに起こる。最小かみ合い長さはボルトではなく*ナット／めねじ側の材料*で決まる：

ナット／めねじの材料（鋼製ボルト）	最小かみ合い長さ L_e
鋼、ボルトの強度区分以上	0.8–1.0 × d
鋳鉄	~1.25 × d
アルミニウム	1.5–2.0 × d
マグネシウム／プラスチック	2.0–2.5 × d

止まりめねじでは、不完全ねじ部の分として1〜2ピッチを加える。*Thread engagement* ツールは、ボルトの強度区分と母材に応じて L_e を正確に算出する。

5. 締結体の設計指針

- **ボルトに締付け長さを与える。** 長く細いボルトほど多くの伸びを蓄えるため、へたりや熱サイクルを経ても軸力を保持し、疲労の応力振幅も小さい。短く太いボルトは、わずかななじみで軸力を失う。

- **疲労を受ける箇所では軟らかい締結体を避ける。** ガスケットや重ねた皮膜はクリープして締付力を緩める。可能な限り金属どうしを通しボルトで締結するか、なじみ後の増し締めを指示する。

- **座金**は座面荷重を分散し、回す側の部品の下の面を保護する
  長穴、軟らかい材料、大きなすきま穴には必ず使用する。

- **ピッチと縁距離：** 縁距離 ≥ 1.5–2 × d、ボルト間隔 ≥ 2.5–3 × d。

- **せん断継手：** 摩擦接合（軸力による摩擦でせん断を伝える）か支圧接合（軸部が穴壁で支圧を受ける）かを決める。摩擦接合には、確認された十分な軸力が必要である。

- **ボルト穴のすきまを大きくしすぎない**
  大きなすきまと軟らかい部材の組合せは、すべりとへたりを招く。

6. ゆるみとゆるみ止め

自然ゆるみは**軸直角方向（横方向）の振動**によって生じる。これが一時的にねじ面の摩擦に打ち勝ち、ナットを戻り回転させる（ユンカー機構）。最初の対策は常に**十分な締付け長さのもとで高い軸力を維持すること**である — 「ゆるんだボルト」の大半は、実は軸力不足のボルトである。

ゆるみ止め方法	機構	振動に対する保持性	再使用
適切な軸力＋締付け長さ	締付力による摩擦	高	可
ナイロンナット（ナイロンインサート）	インサートの摩擦	中	限定的（≤ ~120 °C）
全金属製プリベリングトルク形ナット	変形させたねじ山	中–高	数回
ウェッジロック座金（例：Nord-Lock）	頭部下のくさびカム	非常に高い	可
嫌気性ねじゆるみ止め剤	硬化した樹脂がねじ部を埋める	高（グレードによる）	1回限り；事前に脱脂
ばね座金	—	軸直角振動に対してほぼなし	—
ダブルナット	ねじ張力の反転	中–高	可
溝付きナット＋割りピン／回り止め針金	形状による確実な回り止め	非常に高い	ピンは1回限り

注：一般的なばね座金は、最近の試験では軸直角方向の自然ゆるみを確実には**防げない** — 振動対策としてこれに頼ってはならない。

7. 破損モードとチェックリスト

モード	原因	対策
疲労破壊（首下丸み部／第1ねじ山）	軸力不足、締付け長さ不足、応力集中	保証荷重の約75%の軸力、締付け長さを長く、転造ねじ、首下丸み
ねじ山のせん断破壊	かみ合い長さ不足、軟らかいナット、トルク過大	L_e を増やす、硬いナット／インサート、トルク管理
へたり／応力緩和	粗い／軟らかい座面、皮膜、ガスケットのなじみ	なじみ後の増し締め、接触面を減らす、座面を硬くする
過大トルクによる降伏	K の誤り、潤滑の不均一	締付け方法の管理、正しい K の使用
水素脆化	めっきした高強度品（≥10.9）	めっき後のベーキング、メカニカル亜鉛めっき、水素環境では使用しない
かじり（ステンレス）	無潤滑のねじが締込み中に焼き付く	焼付き防止剤、回転速度を下げる、異種合金の組合せ
異種金属接触腐食	異種金属＋電解質	材質を合わせた／被覆した締結部品、絶縁

7.1 締付けチェックリスト

- **強度区分**
  標準は 8.8。スペースの制約でより小さいボルトが必要な場合に限り 10.9/12.9。耐食には A2/A4。

- **寸法と軸力**
  有効断面積 A_s で寸法を決め、目標軸力を保証荷重の約75%に設定する。

- **締付け仕様**
  実際の
  K を用いて $T = K \cdot F_i \cdot d$ でトルクを決めるか、精度が必要なら回転角／降伏点／伸び測定で締め付ける。

- **かみ合い長さ**
  母材に対する L_e を確認する（第4節／ツール）。

- **締付け長さと座金**
  十分な締付け長さ。回す側の部品の下に座金。疲労を受ける箇所では軟らかい／ガスケット入りの締結体を避ける。

- **ゆるみ止め**
  振動、温度、再使用の要否に方法を合わせる。

- **図面に明記する**
  強度区分、表面処理／コーティング、締付けトルク（と締付け方法）、ゆるみ止め、座金。

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/ja/downloads/bolted-joint-reference/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact