

ねじはどうして緩むか

<たかが“ねじ”されど“ねじ”>

ねじはどこにでもある機械部品であるが、いつの間にか“ねじ”がゆるんでいたりする。しかし、なぜゆるむのかについてはなかなか難しい。緩み止めとして使われるスプリングワッシャーについては、本当に効果があるのかどうか良くわからない。ねじがゆるみが原因で機械が故障することは良くあるため気は抜けない。スプリングワッシャーはねじのゆるみ止めとして有効か。ねじを真面目に考えるとなかなか面白い。「たかがねじされどねじ」である。機械工学の基本であるねじについて調べた結果を述べる。

1. ねじに発生する応力の計算

ねじに発生している応力を求める時は、ねじに作用する引張応力を基に計算しがちであるが、締付時に発生するねじり応力（せん断応力）も忘れずに考慮することが必要である。

めねじにトルク T を加えられて軸力 F が発生しているおねじには $\sigma = F / (\pi d^2 / 4)$ なる引張応力と $\tau = T / (\pi d^3 / 16)$ なるせん断応力が同時に作用している。この場合、軸力による引張応力の約 1.3 倍がその材料の破損応力（降伏点又は耐力） σ_Y ($\approx 1.3 \sigma$) に達した時に破損が起こるとみなされている。このことから軸に作用する最大締付応力 $\sigma_{\max}$ は余裕をみて $\sigma_{\max} = 0.7 \times \sigma_Y$ とする。

出典：機械工学便覧機械要素設計 B1-76

例：S45C のボルトの場合（引張強さ約 540Mpa、降伏点 340Mpa）

最大締付応力は $\sigma_{\max} = 0.7 \sigma_Y = 1/1.3 \times 340 = 238 \text{Mpa}$ 以下でなければならない。

2. ねじ締結体に作用する外力と内力の関係

ある部材をねじ締めして固定するとき、ゆるみのないように、しっかりと締付けるが、このとき部材に力を及ぼしていると同時に、その反作用でねじの内部にも力が働き、ねじは変形（伸び）していることを理解する必要がある。

すなわち、ねじは弾性体でありバネ性があるということである。

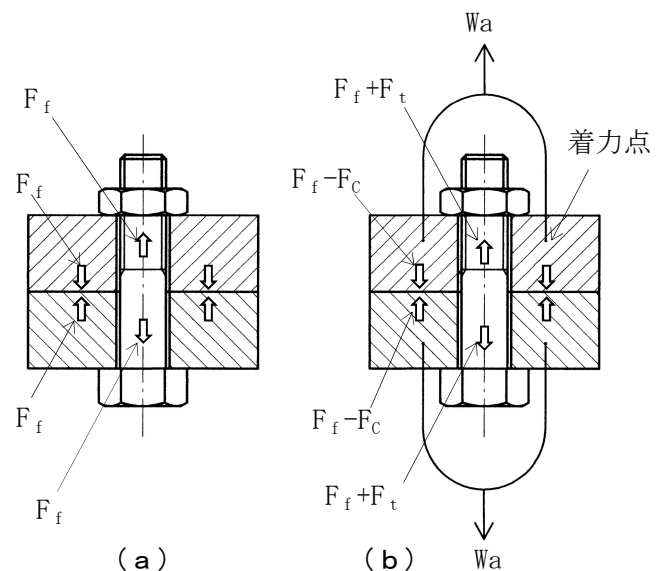
以下、その論理を述べる。

2 枚の板の中心部に 1 組のボルトナットで締め付けた（図 1-a）のボルト軸部に F_f の引張力、被締め付け板には F_f の圧縮力を生じてつりあっている。

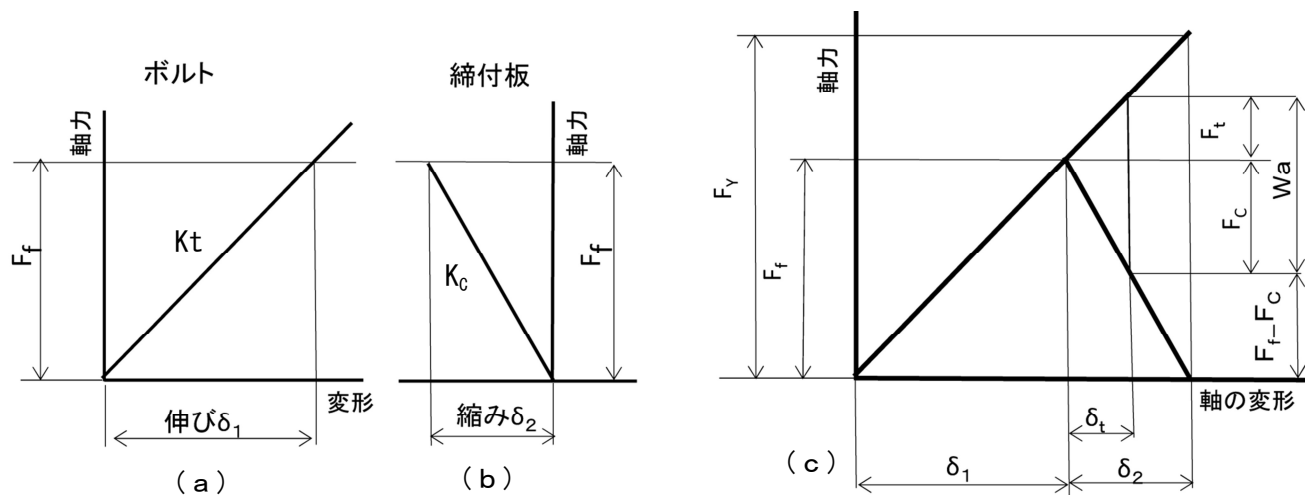
この場合、 F_f を予張力（Preload）という。この締結体に（図 1-b）に示す W_a の軸方向の外力が作用した時、ボルト軸部に F_t の引張力が追加されて、 $F_f + F_t$ の軸力となり、被締め付け板からは F_c の圧縮力が失われて $F_f - F_c$ の締め付け力となる。

（図 2-C）図から外力 W_a が増加し $F_f - F_c = 0$ となると被締結体への締付力は無くなることがわかる。

（図 2-a、b）の K_t はボルトナット系の引張ばね定数、 K_c は被締め付け板の圧縮ばね定数を表す。



（図 1）ねじ締結体に作用する外力と内力



(図 2) ねじの締付線図

3. ねじの緩む理由

3. 1 ナットが回転しないで生じるゆるみ

(出典：「ねじのおはなし」山本晃、日本規格協会、「ねじ締結の原理と設計」養賢堂)

1) 初期ゆるみ (接触部の小さな凹凸のへたり)

締め付け接触面の仕上げ精度、微小凹凸が振動荷重のため摩耗し平滑になるためにゆるみが発生する。
この種の緩みは、へたるだけへたった後は進行が止まるので、ある程度時間経過後に増し締めする。

2) 陥没ゆるみ (ボルト座面部の被締結部材への陥没)

ねじとの接触面が締め付け力により陥没することによりゆるみが発生する。
陥没緩みは、軟らかい被締結部材を高強度ボルト・ナットで締め付ける場合に起る。
対策としてはフランジ付き六角ボルト、ナットか硬い座金を併用する。

3) ガasketのへたり

配管フランジに流体の漏れを防止するために使用するガスケットは非弾性材料を内蔵しているため、外力によりへたりが進行する。一般的にへたった後は進行が止まるので増し締めする。

4) 熱の影響

数百度の高温で使用する場合、材料の膨張率の差でゆるみが発生する
また、炭素鋼は 500℃前後で再結晶し、再結晶の際、予張力が消失する。高温にさらされる機械は注意が必要である。

3. 2 ナットが回転して生じるゆるみ

1) 軸回り回転の繰り返し

鉄の回転軸に使われるねじやメガネのつるを取り付けるねじが回転の繰り返しによってゆるむ。被締結部材同士がねじを締める方向に回転するときは座面で滑り、ねじが緩める方向に回転するときはねじ面で滑るという条件を満たしている場合に生じる。対策としてはおねじ・めねじ間に有効な回転抵抗を生じるような仕掛けする。

2) 軸直角変位の繰り返し

ボルトナットで締め付けられた被締結材同士にお互いに軸直角方向の繰り返し外力が作用して、ボルトねじ山下面とナットネジ山上面がすべり、また被締結材とナット座面間で滑りが生じる。これを繰り返すことによりゆるみが生じる。

3) 軸方向荷重の増減

ボルトに軸方向荷重を繰り返しかけたときナットが微量ながら緩み回転する。通常のねじ締結体のように外力によるボルト軸力の変動が予張力に比べてかなり小さい場合は、この種の緩みは起らない。

4) 振動や衝撃的外力によるゆるみ

ねじ締結部に短い時間で激しい外力が作用すると、ねじ面に圧縮衝撃が起きる。この衝撃力が、ねじ面の押しつけ力以上になると、ボルトねじ面とナットねじ面が離れ、次の瞬間には戻って再接触する。この状態が繰り返されるといわゆるジャンピング現象となる。

対策はボルトの締め付け力を大きくすること。

4. ばね座金（スプリングワッシャー）は有効か

スプリングワッシャーはねじのゆるみ防止に効果があるかについて、疑問を持っている人が多い。調査した結果では、

- 1) ばね座金のバネ定数がねじ本体のバネ定数に比べ、小さいことからゆるみ防止としては効果がない。
例えば、平板の締付厚さ 10mm の場合、M6 ボルトのばね定数はおおよそ 350kN/mm (M6 長さ 10mm のボルトを 0.001mm 伸ばすのに必要な荷重が 350N) これに対し呼び 6 の鋼製ばね座金のばね定数はおおよそ 2.7kN/mm (ばね座金を 0.001mm 弾性回復させるために減じる荷重は 2.7N)。ばね座金のばね定数はボルトのその 1/130 でしかない。したがって、実用されているときのばね座金は、締付けを始めた軸力が低い段階で、密着してばねの役目をしなくなってしまう。

出典：わかりやすい機械要素 (JIPM ソリューション)

- 2) 六角ナットのゆるみ実験結果としてばね座金を入れると、入れない場合に比べ緩みやすい。フランジ付きナット、ダブルナット、ナイロン入りナットのほうが緩みにくい結果が報告されている。
ただし、ばね座金はゆるみ防止効果はないものの、ねじの脱落防止には役立つとされている。

出典：ねじの締結の原理と設計 山本晃 (養賢堂)

- 3) このことから通常の機械にはばね座金は不要と考えるが、制御盤の端子台に配線端子を接続する部分には、ねじがゆるみ脱落すると短絡が発生する可能性もあることから、脱落防止として取り付ける意味はあると考える。

- 4) 私の車のエンジン回りの振動の大きいところで使われているねじについて確認したところ、フランジ付きのボルト、ナットが多く使われていた。わかっている会社は分かっているのである。