

機械要素設計 14 回目 演習問題

3) および 4) の解答

3) ねじ頭からナットまでの長さ 40mm, 締結力 (軸力) を 300N とし、使用時にはさらに 2700N 加わるものとする。この条件に合うねじを選定せよ。(呼び径, 強度区分は自身で決定) ねじの材料は鋼, 衝撃荷重に対応 (安全率 15) とする。また, 前述のような手動トルクレンチを用い, 潤滑油等を用いて締める場合, 選定したねじに関して締め付けトルクはどのくらいになるか, 計算せよ。

(解答) 内力としては 300[N] 加わり, 外力として更に 2700[N] 加わるので, これだけで 3000[N] の軸力が加わるものである。これに対して安全率 15 が決められているので, その 15 倍の 45000[N] の最大締め付け軸力に耐えるねじを選定する必要がある。下表は最大締め付け軸力を算出するため, $F_{max} = 0.7\sigma_y A_s$ とし計算したものである。有効数字 3 桁のため, 以下のような表記にした。有効断面積の単位は m^2

強度区分		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
降伏点応力	N/mm ²	180	240	320	300	400	480	640	720	900	1080
最大締め付け軸力の係数		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
呼び径	有効断面積										
10	58	7.31E+03	9.74E+03	1.30E+04	1.22E+04	1.62E+04	1.95E+04	2.60E+04	2.92E+04	3.65E+04	4.38E+04
12	84.3	1.06E+04	1.42E+04	1.89E+04	1.77E+04	2.36E+04	2.83E+04	3.78E+04	4.25E+04	5.31E+04	6.37E+04
14	115	1.45E+04	1.93E+04	2.58E+04	2.42E+04	3.22E+04	3.86E+04	5.15E+04	5.80E+04	7.25E+04	8.69E+04
16	157	1.98E+04	2.64E+04	3.52E+04	3.30E+04	4.40E+04	5.28E+04	7.03E+04	7.91E+04	9.89E+04	1.19E+05
18	192	2.42E+04	3.23E+04	4.30E+04	4.03E+04	5.38E+04	6.45E+04	8.60E+04	9.68E+04	1.21E+05	1.45E+05
20	245	3.09E+04	4.12E+04	5.49E+04	5.15E+04	6.86E+04	8.23E+04	1.10E+05	1.23E+05	1.54E+05	1.85E+05

単位は[N]

さて, 選択した工具と締め付け条件から $Q=1.4$ を選択する。これにより

呼び径										
10	6264	8352	11136	10440	13920	16704	22272	25056	31320	37584
12	9104.4	12139.2	16185.6	15174	20232	24278.4	32371.2	36417.6	45522	54626.4
14	12420	16560	22080	20700	27600	33120	44160	49680	62100	74520
16	16956	22608	30144	28260	37680	45216	60288	67824	84780	101736
18	20736	27648	36864	34560	46080	55296	73728	82944	103680	124416
20	26460	35280	47040	44100	58800	70560	94080	105840	132300	158760

単位は[N]

となる。一方, 外力 2700[N] が掛かるものとするとき, 被締結物が離れないようにするための条件は, 最低締め付け軸力 $F_{min} = F + 0.2F$ とし, 3240[N] は確保しなければならない。以上の条件を満たすねじは, 例を挙げると以下のものが選定できる。

M12 強度区分 10.9, M14 強度区分 9.8, M16 強度区分 6.8, M18 強度区分 5.8, M20 強度区分 4.8

締め付けトルクの最大値は問題 2) 同様に $T=0.2Fd$ で算出できるので, それぞれ以下のものとなる。

91.0[Nm], 119[Nm], 126[Nm], 147[Nm], 169[Nm]

最小値については同様に求めることができるが, 締め付け状態のばらつきについては最大値と異なる点に注意すべきである。

9.08[Nm], 10.6[Nm], 12.1[Nm], 13.7[Nm], 15.2[Nm]

よって、最大締め付けトルクを守るだけでなく、最低締め付けトルク以上にしておかないと必要な締結状態が実現できないことに注意すべきである。

最大締め付けトルク（軸力）：ねじの使用に際し、設定された条件でねじが、一定期間、一定比率以上残存する強度を保證するという信頼性を確保する。

最小締め付けトルク（軸力）：ねじの締結状態を勘案し、設定された条件で被締結物が、一定期間、一定比率以上離反せず必要な軸力（締結力）を維持し続けるという信頼性を確保する。

ということ意識した設計が必要である。もちろん、組み付け初期には漠然と馴染むと表現されるように接合面の平滑化が進んだり、各材料がクリープ等起こすため、伸び（緩み）の問題もあり、また使用期間の長さに応じてへたりの生じたり、継続的な振動によって緩みが発生することもある。

設計要件を満たしているからいずれを選択してもよいが、実際 M12 と M20 のねじはかなり印象が異なるものである。従って、被締結物の形状や条件、他の部品との組み合わせ、利用する工具や他のねじ、生産方法（作業工程）との兼ね合いを考えながら選択することになる。

例えば、同じ強度区分で呼び径のねじを他でも利用するのであればそれと同寸にするのも一策であるし、同じ寸法を選んででも他の強度区分が異なる場合は異なる呼び径のものを選んで組み立てのミス回避するのも設計法であると言える。

他の視点で考えると、入り組んだ形状の場所で、なるべく工具を小さく済ませたい、あるいはできる限りねじ間の距離を小さくしておくことが必要な場合、生産設備や工具の問題で大きな締め付けトルクを発生させることが困難場合などは強度区分を上げて細いねじで済むようにするのも有効な方法である。

4) ねじの破壊の原因について授業では ~~4つ~~ 挙げた。それぞれについて具体例を示しながら説明せよ。

自身がものを作ったり、あるいは壊れたものを観察した経験があれば、それに基づいて解答できればなおよい。

(訂正箇所について)

「4つ」のところは、以下のように訂正した。反映できていない場合も、減点等を行わない。

「軸方向の引っ張り強度、ねじ山の剪断強度、ねじ山の面圧強度、被締結部材の剪断方向力、ねじ軸に対するねじりトルク」

解答)

- 軸方向の引っ張り強度

いわゆる強度不足で、静的荷重、動的荷重、疲労破壊など様々な要因により破壊するものである。

引っ張り応力が過大、不完全ねじ部付近の形状による応力集中などのほか、全ねじ形状を作る際、

ねじ頭付近の逃げ付近の応力集中によりねじの頭が離脱してしまう場合もある。設計ミス、組み立

てミスのほか、繰り返し着脱時の管理ミスも原因となりうる。

例) 機械故障により被締結部品に過大な軸力が生じた場合。

- ねじ山の剪断強度

軸力に対しておねじとめねじのはめあい量が少ない場合、ねじ山の根元部分に加わる剪断力が過大になり破損する。ねじ山が脱落するような破壊状態となる。

例) ダブルナットの順番を間違え、締結部材側（下ナット）を厚いものにしてしまった場合。口面取りが大きく有効なねじ長が確保できていない場合。弱い構造部材のめねじ長さが不足の場合。

- ねじ山の面圧強度

ねじ面に加わる圧力が過大になることで破損するものである。点検や交換よりも多くの頻度で繰り返し締結・解放を繰り返す部位などでは、大きな摩耗につながり、ねじ強度を落とす原因となる。あるいは焼き付きの原因にもなり、分解不能に陥るような不具合もある。伝達でない場合も、頻度が高い場合は、呼び径を上げて余裕を持たせる必要がある。

送りねじなど相対運動をする部位においては潤滑による極圧性能を確保するためにも面圧が上がりすぎないように考慮する必要がある。伝達用途のおねじとめねじは潤滑だけでなく、ともがねを避けた方が焼き付きを避けられるが、それぞれのばね定数が異なるようにすることで極端に面圧が上がりすぎる部分が発生しないようにする工夫が必要である。

例) 繰り返し脱着を行う部位の小さすぎるねじの摩耗

- 被締結部材の剪断方向力

ねじに働く剪断方向の過大な力によりねじが破壊されるものである。リーマボルトの軸などある程度剪断力を受けてもよいものを除き、特にねじ部に剪断方向の力を受けることが原因であり、組み合わせ構造の設計ミスと考えてよい。あるいは必要なノックピンなどの挿入を忘れたなどの組み立て作業ミスもある。

例) 安価であり力のかからないと思われた部分で精度の出ていないねじ止めの板金部品で挟む構造のところの締結力不足で部品がずれ、振動を繰り返し受けているうちに破損した場合。

- ねじ軸に対するねじりトルク

ねじ頭、ナット付近で発生する破損であり、捻りトルクが過大であるため、変位の大きいねじの外側から破壊が始まり、少なくなった断面積では支えられずに破断するものである。組み立て作業時などにねじを捻り切ってしまうものであるが、締め付けトルクの間違い、不適切な工具の選定や不適切な作業法などにより発生する。

例) 小さいねじに強力な電動ドライバやインパクトレンチを勢いよく回転させて締め付けた場合、