

第 21 話 どちらのボルトが強いですか

2008 年 6 月 5 日 作成

萩原芳彦

図 1 (a),(b)は、頭部を省略してあるが、2 種類のボルトを天井に取り付けた状態を示している。ねじ部 A は同じ形状であるが、ねじのない部分 B の直径は異なり、図(a)はおねじの谷径と等しく、図(b)はおねじの外径と等しい。どちらのボルトが強いであろうか。

余談であるが、昔、学生と話をしていてボルトという言葉で、笑い話のようなことに出くわした。ボルト(bolt)の図面を描くようにと指示したとき、学生は理解できず、なぜわからないのか問いただすと、電圧の単位のボルト(volt)のことを考えていた。さらに、ボルト、ナットのボルトのことはその名前も知らなかった。ちょうどメカトロニクスなどという言葉が出始めたころで、機械工学科に入ってきた学生でもそちらの興味の方が強かったせいもあったのではないだろうか。CAD などの導入の話題が大学でも出始めたころであり、手書きによる製図の重要性も揺れ動いた時期でもあった。

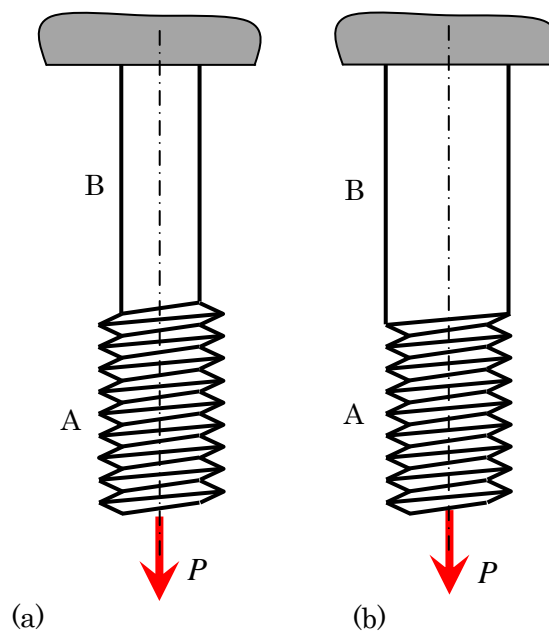


図 1

さて、本題に戻り、結論を先に述べれば、強い、あるいは安全なのは図 1(a)の方である。

図 1 の力 P は、図には示していないが、ねじ部に取り付けられる下側の物体から作用する力を示している。このような引張りの力がボルトに作用する場合、図 1(a),(b)ともにねじ部 A は同じ形状であるので、ねじ部に生ずる応力はどちらの場合も同じとなる。一方、ねじのない B 部は図 1(b)のほうの断面積が大きいいため、図 1(a)の場合に比べて低い応力状態となり、こちらの方が安全である。しかし、A、B 部は直列になっており、一部分だけが低い応力となり安全であっても、全体の強度の改善にはならない (最弱リンク説)。

したがって、単に引張りの静的な力が作用するだけであればどちらのボルトも同じ強さを持つと考えてよい。しかしながら、このボルトに衝撃力が作用する場合には状況異なる。衝撃のエネルギーを吸収する能力は図 1(a)の方が高く、衝撃による応力は低く抑えられ、安全性はこちらのほうが高いのである。以下にその要点を説明しよう。

図 2(a),(b)のように、一様な太さの棒 (断面積 A) と段付き棒 (断面積 A 及び $2A$) がある。それぞれ高さ h のところから質量 m の物体が落下し、衝突によって衝撃力を棒が受ける場合を考えてみよう (「よくわかる材料力学」、図 9・7 参照)。

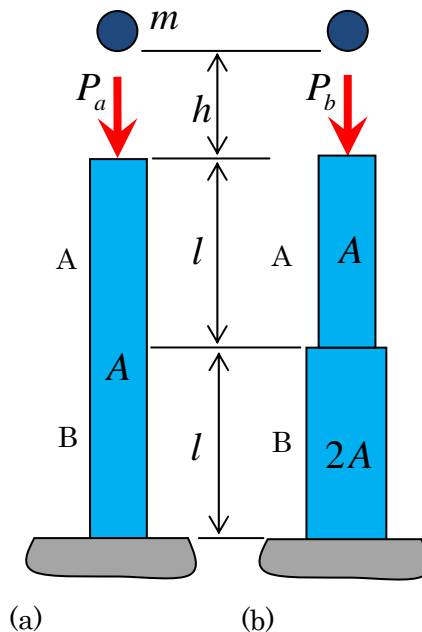


図 2

質量 m の物体が落下して棒に衝突した瞬間の運動エネルギー U は、
$$U = mgh \quad (1)$$

となる。

一方、このとき生ずる衝撃力を図 2(a),(b)の場合に、それぞれ P_a 、 P_b とすれば、これらの棒に蓄えられる弾性ひずみエネルギー U_a 、 U_b は、

$$U_a = \frac{P_a^2 \cdot 2l}{2EA} = \frac{P_a^2 l}{EA} \quad (2)$$

$$U_b = \frac{P_b^2 l}{2EA} + \frac{P_b^2 l}{2E \cdot 2A} = \frac{3P_b^2 l}{4EA} \quad (3)$$

となる。

上記の運動エネルギーがすべて棒の弾性ひずみエネルギーに変換されるものとすれば、

$$U = U_a = U_b$$

が成り立つ。これらの関係から、衝撃力はそれぞれ、

$$P_a = \sqrt{\frac{mghEA}{l}} \quad (4)$$

$$P_b = \sqrt{\frac{4mghEA}{3l}} \quad (5)$$

となる。

この結果からわかるように、 $P_a < P_b$ であるので、衝撃力は断面積の大きな部分を有する段付き棒の方が高くなる。図 2(a),(b)ともに最小断面積は A であるので、最大の衝撃応力も図 2(b)の方が高くなる。図 1 においてねじ山部分は力をほとんど負担しない。そのため、図 1(b)の方は図の上下が逆転しているものの、図 2(b)と同様な状況にある。したがって、図 1(a)の場合に比べて高い衝撃応力が生ずることになり、**衝撃力が作用するところで使用するには図 1(a)に比べて相応しい形状とは言えない。**

図 3 は、図 1 を模した板状の棒を引っ張った場合の 2 次元有限要素法による解析結果である。上部 B の太さの違いはねじ部 A の応力状態にほとんど影響していないことが分かる。また、ねじ山部分はほとんど応力が零に近い状態（青色に近いほど応力は低い）となり、ねじ山部分はひずみエネルギーの吸収が非常に少ないことも分かる。

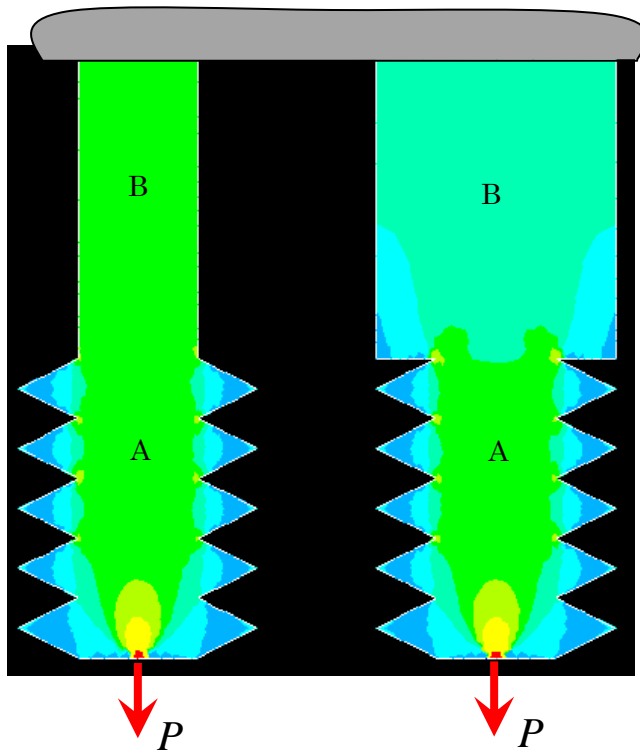


図 3

このようなねじ付きの棒を例えば旋盤で加工（ボルトは実際には大量生産する機会が多く、鍛造、転造などで製造される）する場合、図 1(b)のほうは一様な太さの棒を用いてねじ加工をすればよいが、図 1(a)の場合にはねじ加工した後にねじ部でない部分も削らなければならない、手間がかかる。また、ねじ部は応力集中も生ずるので、衝撃を吸収することを重視した設計を考えるのであれば、ねじ部に比べてねじ部以外は図 1(a)の形よりもさらに細くすることも可能であろう。ただし、細くすれば変形はしやすくなるのであるから、機能上の問題が生ずることもある。使用目的にあった形状設計が重要である。