

## 高力ボルト摩擦接合の安全性について

中部工業大学 正員 小西一郎  
 神戸大学工学部 正員 西村 昭

摩擦接合における高力ボルトの役割は、接合鋼板間に高い圧力を発生せしめ、摩擦抵抗力を高めることにある。そのためにボルトは、その自身の強度に対して、相当高い比率の応力レベルまで使用され、ここに高力ボルトの構造材としての特殊性が生まれてくる。

①耐力点(降伏点)近い、あるいはそれを越える高い応力レベルで使用される。

②その高い応力は、ほとんど変動することなく、持続して作用する。

したがって、このような高力ボルトを使用する摩擦接合の安全性は、上記の特殊性を考慮して、ボルト自身の安全性とともに論じなければならぬ。

高力ボルトの安全率

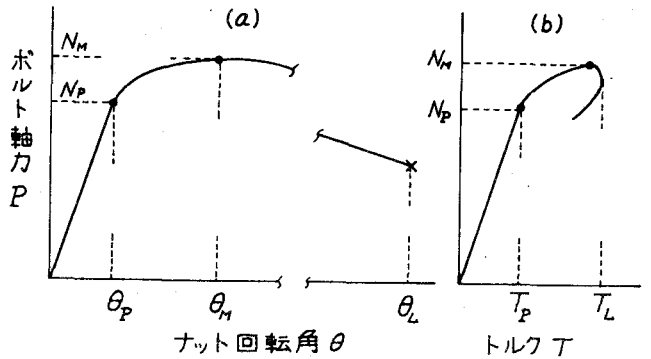
一般に構造部材の安全率とは、その部材が本来の機能を失う限界値に対する許容値の割合を以て定義される。この定義に従えば、接合鋼板間に高い圧力を生ぜしめるという高力ボルト本来の機能を失う限界状態とはボルトの破断に他ならず、その状態を基準として安全率を考へなければならぬ。高力ボルトの破断は、ボルトのねじ切り、あるいは遅小破壊によって生ずる。これらのうちねじ切りは、与える原因すなわちナット回転角 $\theta$ 、あるいはナット回転トルク $T$ との因果関係が明確であるが、遅小破壊は与える原因すなわち軸力に対する因果関係が明確でなく、偶発的な要素が多分にある。したがって、ねじ切りに対してはそれに対応する物理量と限界値とし、一方で許容値と与えることにより安全率が定まる。しかしながら、遅小破壊の場合は、このような手法が当てはまらず、許容軸力あるいは安全率の選定はできない。つまり、遅小破壊に対する安全性の保証は、ボルト自身についてではなくて、継手のすべり荷重に対する安全率の中において取扱われるべきものとする。ボルト自身の強度からみると、わが国の示方書では、トルク法では耐力の85%(F8T)、あるいは75%(F9T, 10T, 11T)と設計ボルト軸力とし、それぞれ10%増しを標準ボルト軸力として締付け施工の目標とする。また、ナット回転法では、耐力、あるいはそれを越える軸力に対応する $\theta$ を与えて締付けることを目標とする。したがって、一般鋼部材と同様に考へて、鋼の使用限界を耐力あるいは降伏点に置くものとするれば、安全率は1に近いが、あるいは1以下になっていることになるが、これは前述の理由からボルトの場合には適切な解釈ではない。いま、図の記号を用いて前述の定義に従いボルトの安全率を示すと、ナット回転法(N)、耐力点検出法(P)、トルク法(T)の各場合に対して、それぞれつぎのようになる。

$$N法: \psi_N = Q_L / \theta_M, \quad P法: \psi_P = Q_L / \theta_P, \quad T法: \psi_T = T_L / T_P \quad (4)$$

実例ではボルトの鋼種により変動があるが、 $\psi_N = 2 \sim 4$ ;  $\psi_P = 3 \sim 5$ ;  $\psi_T = 2 \sim 3$ であり、この裏からすれば、トルク法に比して他の2法では、ボルトの安全率は高いと言える。

ボルトの遅小破壊を考慮した継手の安全性

120キロ級以上のボルトは、高軸力下で遅小破壊を生ずることは、実験結果が示すところである。[JSSC, Vol. 6/No.52; 7/72; 9/87; 10/105; 11/12] その場合、軸力は高いほど遅小破壊は生じやすくなる傾向はあるが、その場合でもすべてのボルトに遅小破壊を生ずるのではなく、その発生を量的に説明する研究成果はまだない。経験的・実験的に遅小破壊の可能性がないのが明らかな100キロ級以下のボルトの安全率は前節のように求められる。



遅小破壊の可能性のある場合には、継手の安全性を同レベルに保つには、破壊するボルトの軸力分だけその他のボルト1本当りの軸力を等分に高くしておくか、あるいはボルト本数を増しておかぬばならない。いま、 $\theta$ に対する遅小破壊確率を $\theta$ の単調増加関数 $P_d(\theta)$ とし、このときの軸力を $N(\theta)$ とすると、 $m$ 摩擦面、 $n$ 本継手のすべり荷重 $S$ は、期待値的に次式で表わされる。すなわち、鋼板のすべり係数を $\mu$ とすると、

$$S = m n \mu \{1 - P_d(\theta)\} N(\theta) \quad (2)$$

$P_d(\theta)$ の詳細は不明であるが、いま仮にこれを、

$$P_d(\theta) = 1 - \exp(-\alpha\theta/\theta_y), \quad \alpha > 0 \quad (3)$$

で表わし、かつ $N(\theta)$ を $\theta$ - $P$ 平面上の点 $(\theta_y, N_y)$ と接続する2直線：

$$\left. \begin{aligned} N(\theta) &= N_y \theta / \theta_y, & 0 \leq \theta \leq \theta_y \\ &= N_y, & \theta_y \leq \theta \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

で表わすと、式(2)はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} S &= m n \mu N_y \frac{\theta}{\theta_y} \exp(-\alpha\theta/\theta_y), & 0 \leq \theta \leq \theta_y \\ &= m n \mu N_y \exp(-\alpha\theta/\theta_y), & \theta_y \leq \theta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

#### 摩擦接合の安全性の向上

すべり荷重は期待値的に式(2)で表わされるが、過去の実測例によると $\mu$ および軸力 $N$ はかなりのばらつきを示し、 $n$ 本継手の場合のすべり荷重： $S = m \sum_{i=1}^n \mu N_i$  の確率分布は、 $\mu, N$ の確率分布法則から之ら小、継手の安全性を統計学的に明らかにできる。継手の信頼性は、 $S$ の平均値の増加以外に、 $N$ のばらつきの減少によっても向上し、その意味から、ボルト締付け誤差の減少をはかる必要がある。実測例では、軸力変動係数は、概略値として、T法10%、N法5%、P法2%であり、これらの数値をもとにして、締付け目標値を同一にした場合の各法の信頼性の比較、あるいは同一信頼性をうるための各法に対する締付け目標値(あるいはボルト許容応力度)を求めうる。すでにアメリカでは、ボルト許容応力度を求めるときに際して、平均値的な取扱いのもとに、ナット回転法での1.0に対して、トルク法で0.85という係数の導入がFisher他により提案されている。