

摩擦接合のリライアビリティについて

神戸大学工学部 正員 西村 昭

すなわち 摩擦接合による継手の上り耐力は、鋼板の摩擦面の状態、並びにボルト軸力の大小によって左右される。ボルト軸力の導入、すなわち、ナットの締付けには、トルク法、ナット回転法など種々の方法が考案・利用されてゐるが、いずれも直接軸力を測定して確認するものではなく、軸力と関係ある物理量を介して軸力を推定する間接的方法である。また、軸力の検査も、ナットの回転に要するトルクによるなど間接的方法に頼り、いずれも全数検査ではない。このように、摩擦接合耐力を左右する軸力はもうらうんのこと、摩擦面自体の上り係数も不明な状態であるから、その継手の耐力は、統計学的方法の援用によって推定する以外に有効な方法はないと言える。

本研究は、構造物のリライアビリティ解明に至る研究の一環として、摩擦接合部の耐力の変動を、従来の関連研究に基づいて解明しようとするものである。

1. 基礎資料

(1) 高力ボルト軸力のばらつき¹⁾ 工場仮組時のI形断面プレートガダーを利用して、現場継手ボルトの軸力全数測定を行なったが、その結果として、ボルト締付け法、締付けボルトの位置などにより若干の違いがあるが、概して軸力分布は正規分布に従うと考える。またその変動係数は、18.4%の例はあるが、大体10%前後となった。

(2) 軸力ばらつきと継手耐力との関係 ワイヤストレインゲージを貼布し、標準軸力ボルトとよめより軸力を-30%低くしたものと混在せしめて上り試験と実施したところ、ボルト軸力値と上り荷重との間には比例関係が認められ²⁾、同様の結果を上り係数による影響を可及的に小さくした実験でも確認した。³⁾

2. 摩擦接合の上り耐力変動の統計的考察

前節で述べた従来研究成果に基づき、次の仮定を設ける。

- (1) ボルト軸力は正規分布に従って変動する。
- (2) 継手の上り耐力はボルト軸力値に比例する。

こゝらの仮定に加えて、摩擦面の上り係数に関して次の仮定を加える。すなわち、

- (3) 摩擦面の上り係数は一継手内では一定とし、継手間では変動は正規分布に従う。

さて、仮定(2)により、 n 本のボルトを有する摩擦接合の上り荷重 P_S は次のようになる。

$$P_S = \mu \sum_{i=1}^n N_i \quad (1)$$

ここに、 m : 摩擦面の数、 μ : 摩擦面の上り係数、 N_i : i 番ボルトの軸力

仮定(1)、(3)により μ 、 N_i を確率変数と考え、それぞれ次の正規分布に従うものとする。

$$\mu: N(m_\mu; \sigma_\mu^2), \quad N_i: N(m_N; \sigma_N^2) \quad (2)$$

(かゝるときは $\sum_{i=1}^n N_i$ は $N(nm_N; n\sigma_N^2)$ に従い、式(1)の P_S は正規分布 $N(m_{P_S}; \sigma_{P_S}^2)$ となる。ただし

$$m_{ps} = m n m_{\mu} m_N, \quad \sigma_{ps}^2 = m^2 n (m_{\mu}^2 \sigma_N^2 + n m_N^2 \sigma_{\mu}^2 + \sigma_{\mu}^2 \sigma_N^2) \quad (3)$$

式(3)は書き直すと

$$\sigma_{ps}^2 = (m n m_{\mu} m_N)^2 \left\{ \left(\frac{\sigma_N}{m_N} \right)^2 + n \left(\frac{\sigma_{\mu}}{m_{\mu}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\mu}}{m_{\mu}} \right)^2 \left(\frac{\sigma_N}{m_N} \right)^2 \right\} / n \quad (4)$$

$$\sigma_{ps}/m_{ps} = v_{ps}, \quad \sigma_N/m_N = v_N, \quad \sigma_{\mu}/m_{\mu} = v_{\mu} \text{ とおくと,}$$

$$v_{ps} = \sqrt{(v_N^2 + n v_{\mu}^2 + v_N^2 v_{\mu}^2) / n} \quad (5)$$

を得る。前述の通り v_N は一般に 0.1 程度であり、かつ、 v_{μ} も同程度と考え $v_N = v_{\mu} = v$ とおくと、式(5)は近似的に次のように表わされる。

$$v_{ps} = \sqrt{(v_N^2 + n v_{\mu}^2) / n} = v \sqrt{(1+n) / n} \quad (6)$$

このように、継手耐力の変動 v_{ps} に対してはボルト軸力の変動の影響は継手構成ボルト本数の増大とともに減少し、次第に v_N に近づくことがわかる。すなわち、多数ボルト継手の上り耐力変動は、軸力よりも摩擦面の上り係数に左右されることがわかる。

3. 摩擦接合のリライアビリティ (信頼性)

摩擦接合の信頼性を、主上り発生を基準に、現行示方書⁹⁾により設計される場合につき検討して見よう。現行示方書によれば、摩擦接合の許容上り耐力 P_a は次式で与えられる。

$$P_a = m n \mu N / \nu \quad (7)$$

ここに、 ν (安全率) = 1.6, N は設計軸力である。ここで μ , N はそれぞれ μ のばらつきの平均値として考えられていると解釈できるから、

$$P_a = m n m_{\mu} m_N / \nu = m_{ps} / \nu \quad (8)$$

これに対して実際の施工に当たっては、 N に代り αN ($\alpha = 1.1$) を目標に締付けられる。従って、軸力のばらつきは平均値 αm_N の周りに正規分布し、摩擦接合の信頼性は、上り耐力の分布 $N(m_{ps}', \sigma_{ps}'^2)$ において、式(8)の P_a 以上となる確率で評価される。

継手の上り耐力が保有する、平均値の比として考えた安全率 v_a は、

$$\text{式(8)より} \quad v_a = m n m_{\mu} (\alpha m_N) / P_a = \alpha \nu = 1.76 \quad (9)$$

かつ、継手の信頼性、すなわち、実際の上り耐力が式(8)の許容値以上となる確率 P は、

$$P = \int_{\frac{P_a - m_{ps}'}{\sigma_{ps}'}}^{\infty} \phi(t) dt, \quad \phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-t^2/2\right] \quad (10)$$

$$\text{ここに、} (P_a - m_{ps}') / \sigma_{ps}' = \left(\frac{1}{v_a} - 1 \right) m_{ps}' / \sigma_{ps}' = \frac{1}{v_{ps}'} \left(\frac{1}{v_a} - 1 \right) = -0.432 / v_{ps}' \quad (11)$$

式(10), (11)を用いて v_{ps}' と P との関係を示すと右表のようになる。これより $v_{ps}' = 0.1$ 以上上り耐力が P_a を割ることはまずないが、 $v_{ps}' = 0.2$ 程度になると $P = 0.985$ 、すなわち 15/1000 の割合で P_a を割ることになる。

v_{ps}'	P
0.10	0.999 991
.15	.998
.20	.985
.25	.958
.30	.925

むすび 以上、摩擦接合の上り耐力の分布法則式(3)と導き、継手内ボルト数が増加すれば、上り耐力の変動は摩擦面の上り係数の変動に主として左右されることになる点、さらに現行示方書により設計された摩擦接合の信頼性の評価を試みた。これらの結論は、正常にボルトが締付けられた場合の継手に適用するのは言うまでもないことであるが、締め付け不足、締め付け過剰はこれとは異なる性格の危険性を生じ厳格に管理する必要がある。

参考文献: 1) 西村他: 現場締め高力ボルト軸力のバラつきについて、土木学会年次講演会、昭42-5, 2) 西村他: 摩擦接合の耐力変動について、土木学会関西支庁講演会、昭43-5, 3) 西村他: 摩擦接合の耐力に及ぼす軸力ばらつきの影響、土木学会年次講演会、昭43-10, 4) 日植路協会: 鋼道路橋高力ボルト摩擦接合設計施工指針、昭41-7.