

高力ボルト摩擦接合引張継手の限界状態の区分

駒井鉄工 正会員 秋山寿行 大阪大学工学部 正会員 西村宣男
大阪大学工学部 正会員 亀井義典 大阪大学大学院 学生員 池端文哉

1. まえがき： 一般的に鋼構造物の継手としては、高力ボルト摩擦接合継手が用いられている。この継手に対して、すでに限界状態設計法に移行している諸外国の鋼構造物設計規準では、すべり限界および終局強度に関する条項を与えている。我国において鋼構造物の設計に対して限界状態設計法を導入する際には、高力ボルト摩擦接合継手に関しても、各種限界状態の強度などについて系統的な見直しを行い、明確にする必要がある。筆者らはこれまでに高力ボルト摩擦接合継手の限界状態に着目した実験を行っている¹⁾。本報告はこの実験データより、すべり強度および母材降伏強度に着目し、両者の公称値の比率をもとにして、高力ボルト継手の限界状態の区分を明らかにしたものである。なお、実験データよりすべり強度や母材降伏強度など抵抗強度を評価する方法として、①データの平均値とそのばらつきを考慮して評価する、②データの直観的な下限値により評価するの2通りがあるが、ここでは後者の方法によって評価する。

2. 高力ボルト継手の引張実験のデータ： 現行の設計規準における高力ボルト摩擦接合継手の設計では、継手の限界状態すなわち母材と添接板の接触面におけるすべりおよび母材の純断面の降伏について、それぞれ独立に照査している。そして、すべり係数は一律 0.4 としている。このことに対して、高力ボルト継手の引張実験のデータにより継手のすべり限界と降伏限界との区別を検討する。ここでは、すべり強度と母材純断面降伏強度との比に着目する。実験データの主な値を表-1に示す。これは、すべり強度の公称値 N_{SL} および線形限界の実験値 N_{PL} について、母材の純断面降伏強度の公称値 $N_{Yn} (= \sigma_Y \cdot A_n)$ または全断面降伏強度の公称値 $N_{Yg} (= \sigma_Y \cdot A_g)$ に対する比を示す。次に、この実験データによるすべり係数 μ_1 の結果を図-1に示す。ここに、 μ_1 はすべり荷重の実験値およびボルトの初期導入軸力の公称値による見かけのすべり係数である。参考文献2)、3)の結果も併せて示す。

表-1 高力ボルト継手の引張実験のデータ

タイプ	ボルト数	N_{SL}/N_{Yn}	N_{PL}/N_{Yn}	N_{PL}/N_{Yg}
A 6(6)	6 本片側	0.373	0.531	0.396
A 6(8)	8	0.497	0.755	0.562
B f 4	4	2.472	1.528	1.007
B f 6	6	3.708	1.524	1.005
B s 4	4	1.235	1.387	0.915
B s 6	6	1.854	1.430	0.943
C 6	6	1.000	1.113	0.762
B f 2 a	2	1.455	1.371	0.886
B f 2 b	2	2.601	1.360	0.913

3. 高力ボルト摩擦接合継手の限界状態：

すべり強度が母材の純断面降伏強度よりかなり小さい場合、母材の降伏の影響はほとんど現れず、継手の両側または片側の全ボルト位置でほとんど同時にすべりが発生している（全体すべり）。図-1の $N_{SL}/N_{Yn} \leq 0.7$ の範囲において、すべり係数 μ_1 は N_{SL}/N_{Yn} との相関性があまりなく、その下限値は0.47とみなせる。 $0.7 < N_{SL}/N_{Yn} \leq 1.0$ の範囲では、すべり現象と母材の降伏現象が独立したものにはなっていない。すなわち、母材および添接板の引張応力による板厚減少のため、ボルトの軸力抜けが進み、すべりが発生する。そして、すべり係数が低下したように見える。図-1において、 μ_1 と $N_{SL}/$

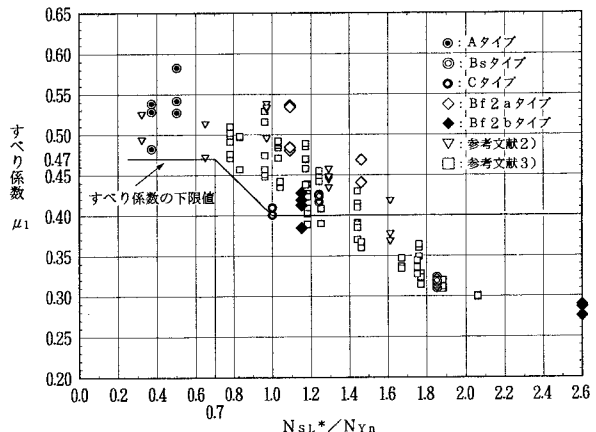


図-1 見かけのすべり係数 μ_1 と N_{SL}/N_{Yn} の関係
(N_{SL} ：すべり強度の公称値)

N_{Yn} との間に線形関係が認められ、 μ_1 の下限値は図中の直線と考えられる。ここで、これらの下限値 μ_2 を用いてすべり強度 N_{SL2} を計算し、 μ_1 と N_{SL2}/N_{Yn} の関係を図-2に示す。図-1と図-2より、 $N_{SL2}/N_{Yn} \leq 1.0$ の範囲では、すべり強度は公称値 N_{SL} より大きくなる。

次に、 $1.0 < N_{SL2}/N_{Yn}$ の場合、すなわち母材の降伏現象がすべり現象より先行する場合、母材の降伏により板厚減少が加速され、ボルトの軸力抜けが進むが、すべり現象は最初に最外列のボルト位置で部分的に発生し（部分すべり）、その後全体すべりが発生する。そして、 N_{SL2}/N_{Yn} が大きくなるほど部分すべりが顕著になり、全体すべりが発生することなく母材の降伏状態になる。ここで、線形限界の実験値 N_{PL} と母材降伏強度 N_{Yn} および N_{Yg} との比を図-3に示す。図-3より線形限界 N_{PL} は、 $N_{SL2}/N_{Yn} = 1.0$ の近傍では限界値 N_{Yn} より幾分大きくなるが、 N_{SL2}/N_{Yn} が大きい場合は限界値 N_{Yg} に近くなる。そして、この両ケースの境界は $N_{SL2}/N_{Yn} = 1.2$ 付近と考えられる。ここで、線形限界の限界値 P_Y は各領域での下限値とし、 $1.0 < N_{SL2}/N_{Yn} \leq 1.2$ において $P_Y/N_{Yn} = 1.1$ 、 $1.2 < N_{SL2}/N_{Yn}$ において $P_Y/N_{Yg} = 0.9$ と考えられる。

4. 限界状態の区分： 前項の結果より高力ボルト摩

擦接合継手の線形限界は、力学パラメータ N_{SL}/N_{Yn} に基づき以下のような区分および限界値が考えられる。

1) $N_{SL, 0.40}/N_{Yn} \leq 1.0$ の場合：線形限界はすべり限界とする。

- ① $N_{SL, 0.47}/N_{Yn} \leq 0.82$ の場合…すべり係数： $\mu = 0.47$ （基本すべり係数）
- ② $0.82 < N_{SL, 0.47}/N_{Yn} (\leq 1.175)$ の場合…すべり係数： $\mu = k \cdot 0.47$ （すべり係数の低減）

2) $N_{SL, 0.40}/N_{Yn} > 1.0$ の場合：線形限界は母材の降伏限界とする。

- ① $1.0 < N_{SL, 0.40}/N_{Yn} \leq 1.2$ の場合…限界値 $P_Y = 1.1 N_{Yn}/\nu$ （母材の純断面降伏強度の割増し）
- ② $1.2 < N_{SL, 0.40}/N_{Yn}$ の場合 …限界値 $P_Y = 0.9 N_{Yg}/\nu$ （母材の全断面降伏強度の低減）

ここに、 $k = 1/[0.596 + 0.493(N_{SL, 0.47}/N_{Yn})]$ 、 $N_{SL, 0.40}$ および $N_{SL, 0.47}$ は $\mu = 0.40$ および 0.47 に基づくすべり強度、 ν は安全率である。

5. あとがき： 本報告において、高力ボルト摩擦接合引張継手の実験データをもとに高力ボルト継手の限界状態（すべり限界、降伏限界）の区分および限界値の評価方法を提案した。これにより高力ボルト摩擦接合継手の設計および製作の合理化を図ることができるものとする。

また、ここでは実験データの下限值により限界値を評価したが、データの平均値およびばらつきを考慮して評価することも必要である。

【参考文献】1) 秋山他：高力ボルト摩擦接合引張継手の強度実験と設計法に関する考察，第47回土木学会年次学術講演会概要集，1-52，1992。 2) 辻岡，脇山：多列高力ボルト摩擦接合部のすべり耐力に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol. 40B，1994。 3) 建設省土木研究所：高力ボルト摩擦接合継手に関する試験調査，土木研究所資料第1871号，1982。 9。

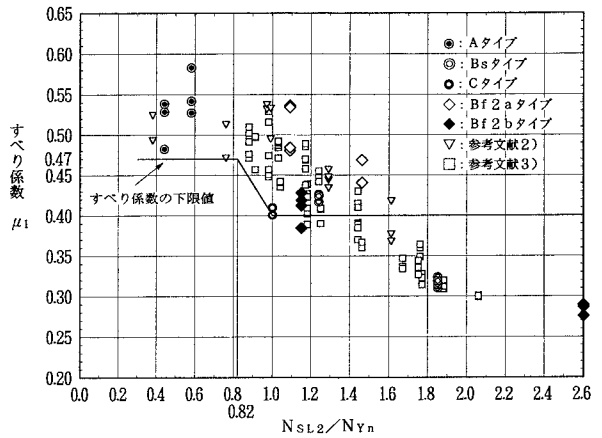


図-2 見かけのすべり係数 μ_1 と N_{SL2}/N_{Yn} の関係
(N_{SL2} ：すべり係数の下限値 μ_2 に基づくすべり強度)

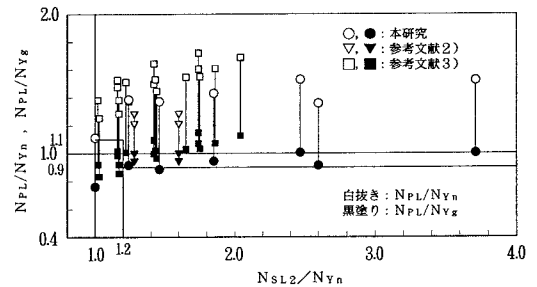


図-3 母材降伏タイプの N_{PL}/N_{Yn} および N_{PL}/N_{Yg} と N_{SL2}/N_{Yn} の関係