

第 部門 極厚多列高力ボルト摩擦接合継手のすべりおよび降伏限界に至るまでの力学挙動に関する基礎的研究

大阪市立大学工学部 学生員 宮尾修平 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口隆司
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田俊行 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村政秀
 宇都宮大学工学部建設学科 正会員 鈴木康夫

1. 研究背景とその目的

近年、鋼橋の製作合理化の観点から、これまでにあまり使用されなかったことのない75mmを越える極厚鋼板を採用する事例がいくつか見られる。この極厚鋼板の現場接合法には高力ボルトの列数の制限などから主として溶接接合が用いられている。しかし、極厚鋼板を現場で溶接接合する場合、その品質の確保がコストアップとなり、問題とされている。一方、もう一つの代表的な現場接合法である高力ボルト摩擦接合においても、極厚鋼板を対象とした場合の鋼板に発生する応力や高力ボルトのリラクゼーション特性、連結板の初期不整の影響など、継手部の力学的挙動に不明な点が多く、適用が進んでいない。

本研究では、極厚鋼板高力ボルト摩擦接合を対象にボルトの長尺化、ボルト列の多列化などがすべり限界挙動、降伏限界挙動にどのような影響を与えるのかを調べることを目的として、極厚多列の高力ボルト摩擦接合引張試験を行い、これらの影響を定量的に把握することを試みた。

2. 実験供試体の設計と内訳

本研究では、M24 高力ボルトで母板の厚さが75mmの高力ボルト摩擦接合を想定し、試験機の載荷能力を考慮し、M16 高力ボルト、母板厚 50mm の縮小モデルを対象とした。

本実験では4種類の供試体(ケース1,2,3,4)を3体ずつ製作した。ケース1~3はすべり先行型でボルト列数を順に4,8,12とし、ケース4は降伏先行型でボルト列数を8とした。

実験では、荷重、変位、母板および連結板の応力、母板と連結板の相対変位、およびボルト軸力を計測する。

なお、計測はすべての項目に対して計測を行う供試体とそうでない供試体とに分けて行っている。これらの詳細を図-1に示す。

供試体の設計で最も重要となるすべり/降伏耐力

比は式(1)を用いた。なお、すべり/降伏耐力比を一定とする場合、板幅を調整して実現している。供試体の内訳と構造諸元を表-1に示す。

$$\beta = \frac{\mu \cdot m \cdot n \cdot N}{(W - d) \cdot t_1 \cdot \sigma_y} \dots\dots\dots (1)$$

：すべり/降伏耐力比 μ ：すべり係数(=0.4) m ：接合面の数
 n ：片面あたりのボルト本数 N ：設計ボルト軸力 W ：板幅
 d ：ボルト孔径 t_1 ：母板厚 y ：降伏点

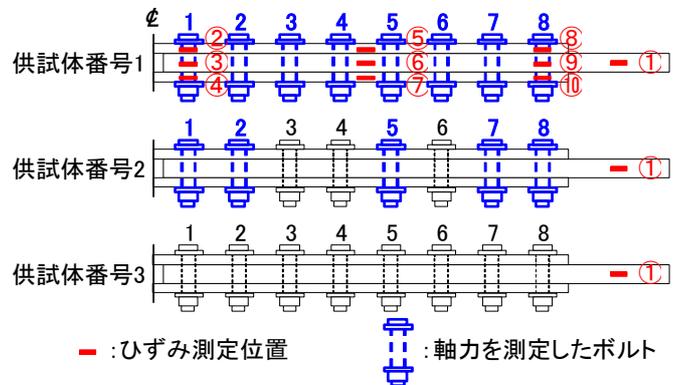


図-1 ボルト軸力および応力の測定位置

表-1 供試体の内訳と構造諸元

ケース	1	2	3	4
片面あたりボルト本数	4	8	12	8
すべり/降伏耐力比 β	0.68	0.68	0.68	1.21
設計ボルト軸力(kN)	106	106	106	106
孔径(mm)	18.5	18.5	18.5	18.5
標準ピッチ(mm)	60	60	60	60
母板厚(mm)	50	50	50	50
連結板厚(mm)	28	28	28	28
板幅(mm)	50	82	114	54
降伏点(N/mm ²)	315	315	315	315
ボルト首下長さ(mm)	140	140	140	140
設計すべり耐力(kN)	339	678	1018	678
設計降伏耐力(kN)	496	1000	1504	559

3. 実験結果及び考察

表-2に実験の結果を示す。これらは3体の平均を示している。ただし、摩擦面の管理や軸力導入時に明らかな違いがあるものに関しては平均値の算出には用いていない。すべり係数 μ_e は式(2)より求める。

$$\mu_e = \frac{P_{SL}}{m \cdot n \cdot N_o} \dots\dots\dots (2)$$

μ_e ：すべり係数 P_{SL} ：すべり荷重 N_o ：試験前ボルト軸力

表-2 実験結果のまとめ (平均値)

ケース	1	2	3	4
すべり荷重(kN)	532.4	761.7	1240.3	806.7
降伏荷重(kN)	504.3	-	-	614.3
試験前ボルト軸力(kN)	120.3	96.2	106.7	105.7
すべり時ボルト軸力残存率(%)	91.4	90.3	90.8	72.6
すべり係数	0.554	0.512	0.476	0.474

表-2 よりすべり係数に着目すると、ボルト列数が4列増えるごとにすべり係数が0.04程度減少している。これはボルト列数が増加することで母板の外側及び連結板の内側での荷重伝達が集中し、中央のボルト群での荷重伝達に関わる割合が低下することが原因と考えられる。

これらの実験結果と亀井ら¹⁾が提案する強度低減係数 (式(3)), および ISO/TC²⁾による強度低減係数 (式(4))とを比較したボルト列数とすべり係数との関係を図-2に示す。ただし、これらの式はボルト列数2列の実験を基本としており、直接用いることはできない。そのため、ボルト列数4本を基準として再評価している。

$$P_{SL} = \lambda \times P_{BSL} \dots\dots\dots (3)$$

$$(\lambda = 0.3 \times 10^{-2} \times (Row - 2)^2 - 0.45 \times 10^{-1} \times (Row - 2) + 1)$$

P_{SL} : すべり荷重 P_{BSL} : 基本すべり強度 Row : ボルト列数

$$\lambda = 1.075 - L / 200d \dots\dots\dots (4)$$

L : 最外ボルト列と最内ボルト列間の距離 d : ボルト孔径

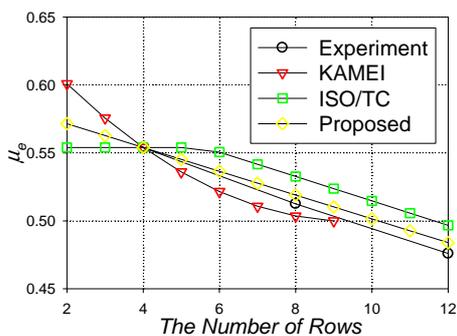


図-2 ボルト列数とすべり係数の関係

ボルト列数が同じで異なるケース2とケース4を比較すると、すべり係数に約0.04の差が生じている。これはケース4では先に降伏が起こったためポアソン効果によって鋼板厚が大きく減少し、ボルト軸力が大きく低下したためと考えられる。

図-3に継手部分の内側および外側における伝達応力の変化を、図-4にボルト軸力の変化をそれぞれ降伏先行型のケースで例に示す。なお、これらの測

定位置は図-1に示す。なお、凡例中の数字が測定位置である。図-3, および図-4より母板または連結板が降伏した時点から、降伏部位近傍のボルト軸力が低下していることが確認できる。さらに、外側母板の降伏よりも内側連結板の降伏の方がボルト軸力に与える影響は大きいことがわかる。また、表-2より、ケース1~3ですべり時ボルト軸力残存率の平均値はほぼ一定であることから、ボルト列数がボルト軸力の低下に影響を与えないことが確認できる。

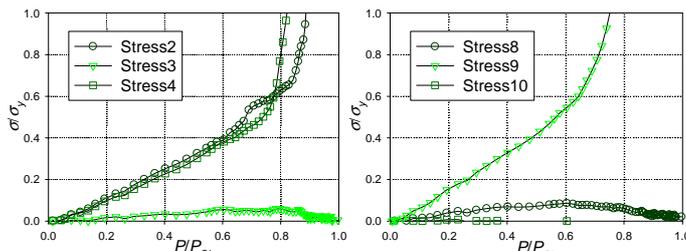


図-3 母板および連結板の応力と荷重の関係(ケース4)

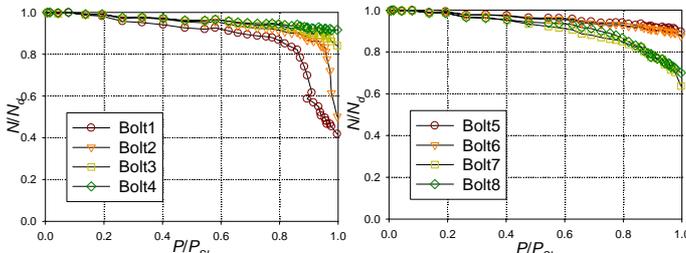


図-4 ボルト軸力と荷重の関係(ケース4)

4. まとめ

- 1) すべり先行型極厚鋼板の高力ボルト摩擦接合では、すべり係数は列数増加に伴い線形的に減少する。この低減係数の傾きはISO/TCによるそれとほぼ一致した。ただし、これの絶対値はやや危険側にあり、修正を行う必要がある。
- 2) すべりが起こるまでのボルト列数の増加によるボルト軸力低下への影響は見られなかった。そのため、ボルト列数増加によるすべり係数低下の原因は接触面に生じる層間せん断力の不均一によるものと考えられる。
- 3) 降伏先行型でのボルト軸力低下は、外側母板の降伏より内側連結板の降伏の方が影響は大きい。

参考文献

- 1) 亀井義典, 松野正見, 西村宣男: 多列高力ボルト摩擦接合引張継手のすべり強度に関する解析的研究, 土木学会論文集, No.640/I-50, 2000.
- 2) ISO/TC 167/SC 1-Steel Structures, Material and Design, 1991.