

極厚鋼板用多列高力ボルト摩擦接合継手のすべり・降伏限界に至るまでの力学挙動に関する基礎的研究

大阪市立大学大学院 学生員 吉岡夏樹 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 和歌山県 正会員 宮尾修平

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を越える極厚鋼板が採用され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、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の原因となっている。一方、もう1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ボルト列数の増加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、極厚鋼板用高力ボルト摩擦接合継手を対象にボルトの長尺化、ボルトの多列化などがすべり限界挙動および降伏限界挙動にどのような影響を与えるのかについて、極厚鋼板用で多列の高力ボルト摩擦接合継手供試体の引張試験を行い、これらの影響を定量的に把握する。

2. 実験供試体の設計と内訳

本研究では、M24 高力ボルト(F10T)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て、M16 高力ボルト(F10T) / 母板厚 50mm の縮小モデルを対象とした。

本実験では6種類の供試体(ケース1~6)を3体ずつ計18体製作した。ケース1~3,6はすべり先行型でボルト列数を順に4,8,12とし、ケース4,5は降伏先行型でボルト列数を8,12とした。また、ケース6はケース2と同じすべり/降伏耐力比であるが母材断面の形状の影響を調べるため母板厚を大きくしている。

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を計測する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/降伏耐力比の計算には式(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。

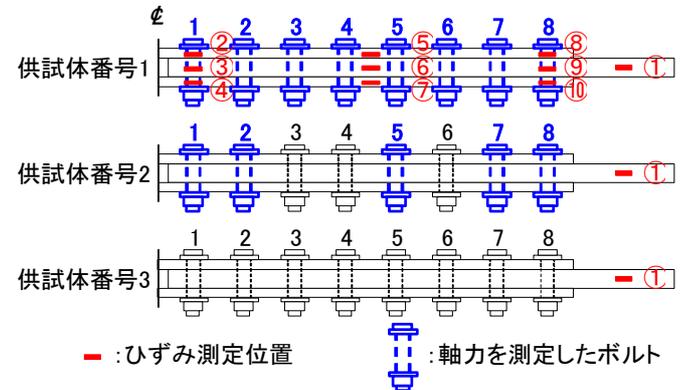


図-1 ボルト軸力および応力の測定位置

表-1 供試体の内訳と構造諸元

ケース	1	2	3	4	5	6
片面あたりボルト本数	4	8	12	8	12	8
すべり/降伏耐力比	0.68	0.68	0.68	1.21	1.21	0.68
設計ボルト軸力 (kN)	106	106	106	106	106	106
孔径 (mm)	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
標準ピッチ (mm)	60	60	60	60	60	60
母板厚 (mm)	50	50	50	50	50	65
連結板厚 (mm)	28	28	28	28	28	36
板幅 (mm)	50	82	114	54	72	67
降伏点 (N/mm ²)	315	315	315	315	315	315
ボルト首下長さ (mm)	140	140	140	140	140	170
設計すべり耐力 (kN)	339	678	1,018	678	1,018	678
設計降伏耐力 (kN)	496	1,000	1,504	559	843	993

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

ここに、 β :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 σ_y :降伏点

3. 実験結果および考察

表-2には、実験結果をまとめて示す。表中の値は3体の平均値を示している。ただし、摩擦面の管理や導入軸力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。

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

ここに、 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	5	6
すべり荷重(kN)	532.4	761.7	1,240.3	806.7	1,021.5	688.8
降伏荷重(kN)	504.3	-	-	614.3	927.7	-
試験時ボルト軸力(kN)	120.3	96.2	106.7	105.7	112.4	95.8
すべり時ボルト軸力残存率(%)	91.4	90.3	90.8	72.6	85.6	92.0
すべり係数	0.554	0.512	0.476	0.474	0.379	0.449

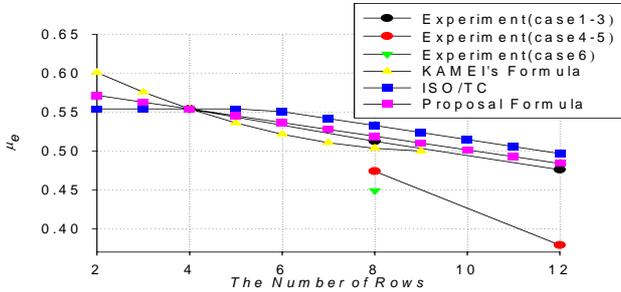


図-2 ボルト列数とすべり係数の関係

表-2 より,すべり係数に着目すると,ケース 1~3 でボルト列数が4列増えるごとにすべり係数が0.04程度減少している。これはボルト列数の増加に伴い,中央のボルト群での荷重伝達に関わる度合いが低下することが原因と考えられる。

ボルト列数とすべり係数との関係について得られた実験結果と亀井ら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))との比較を行った結果を図-2に示す。ただし,これらの式はボルト列数が2列の場合の実験結果を基本としており,直接適用することはできない。ボルト列数が4の場合を基準として再評価している。

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

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

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

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

ここに, L : 最外ボルト列と最内ボルト列間の距離 d : ボルト孔径

ボルト列数が同じで β の異なるケース2とケース4,およびケース3とケース5とを比較すると,すべり係数に差が生じている。これはケース4,5では降伏が先行して起こったため鋼板厚減少の影響が大きく,ボルト軸力が大きく低下したためと考えられる。また,ケース2とケース6を比較すると,母板厚の大きいケース6ですべり係数のより大きな低下が見られた。

図-3には継手部分の内側および外側における母板の応力の変化を,図-4にはボルト軸力の変化を降伏先行型のケース4を例に示す。なお,これらの測定位置は図-1に示す凡例中の数字である。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,その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。

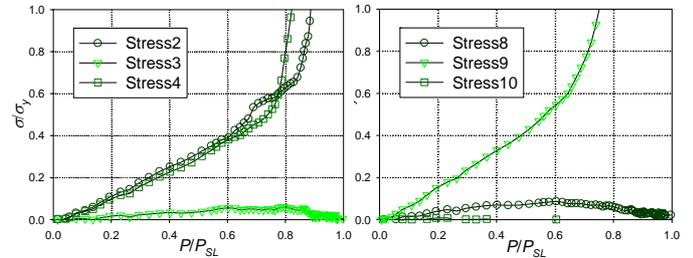


図-3 母板および連結板の応力と荷重の関係(ケース4)

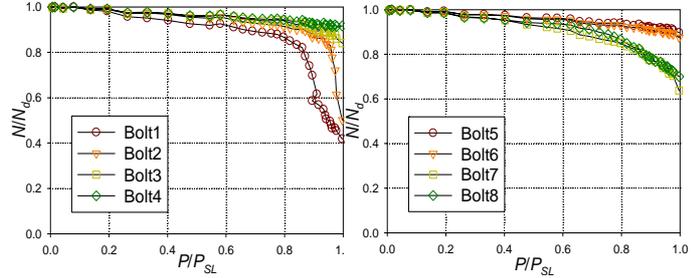


図-4 ボルト軸力と荷重の関係(ケース4)

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が大きいことがわかる。また,表-2より,ケース1~3,6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。

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,この絶対値は実験結果に対して危険側の値となった。
- 2) ボルト列数の増加によるすべりが起こるまでの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であることを確認した。
- 3) 降伏先行型極厚鋼板の高力ボルト摩擦接合では,母板降伏による板厚減少により,すべり係数はボルト列数が8列の場合で約7%,12列の場合で約20%低下した。
- 4) すべり/降伏耐力比を一定とし,母板の板厚を大きくすると,母板のポアソン効果の影響が大きくなり,すべり係数は低下する
- 5) 降伏先行形でのボルト軸力の低下は,外側母板の降伏より内側連結板の降伏の方に大きな影響を受ける。

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, 49-60, 2000.
- 2) ISO/TC 167/SC 1-Steel Structures, Material and Design, 1991.