

板幅が高力ボルト摩擦接合継手のすべり後挙動に与える影響に関する 2, 3 の考察

大阪市立大学大学院

学生会員 ○森山 仁志

大阪市立大学大学院

正会員 山口 隆司

1. 研究背景および目的

著者らは、将来の高力ボルト摩擦接合継手への限界状態設計法の導入を目的に、ボルト孔の変形量に限界値を与えることで、新たな設計終局限界となる変形支圧限界を提案し、実験的にすべり限界以降の基本特性を明らかにしてきた^{1),2)}。文献2)ではボルトピッチと列数をパラメータにした1行2, 3列継手の引張試験を行い、ボルト孔の変形量と支圧耐力の関係が支圧力だけでなく純断面降伏にも影響されることを示した。

そこで、本研究では板幅をパラメータとした1行3列継手の引張試験を行い、純断面降伏がボルト孔の変形量とすべり後耐力の関性に及ぼす影響を調べる。

2. 試験概要

図-1 に試験体形状、表-1 に試験体の構造寸法、表-2 に試験体の設計耐力をそれぞれ示す。

すべり側母板と連結板を SS400、固定側の母板は SM490Y でそれぞれ製作した。また、すべり側には試験

機の載荷能力を考慮し、すべり側の高力ボルトには F10T の M16 ボルトを使用した。一方、非すべり側には、SHTB の M22 ボルトを3列あるいは4列配置した。

試験パラメータである板幅 w は 120mm($=7.5d$, d : 軸平行部径), 152mm($=9.5d$), 184mm($=11.5d$)と変化させた。また、ボルトの配置間隔は、文献2)の結果に基づき、縁端距離とピッチは同一の 72mm($e/d = p/d = 4.5$)とした。

変形支圧限界状態を決定するボルト孔の支圧変形量は、図-2 に示す治具をボルト頭部に装着し、ボルト頭部と母板の相対変位 δ_r を計測することにより評価している。また、図-1 に示す標点間距離において、すべり側継手部の全体変位も計測した。

3. 試験結果

表-3 に試験結果を示す。すべり荷重は文献3)に基づき、図-2 の緑枠で囲んだ相対変位計により決定した。

図-3 に荷重 P と継手全体変位 δ の関係を示す。図中には表-1 に示す各 w/d の純断面降伏耐力 P_{yn} を示した。

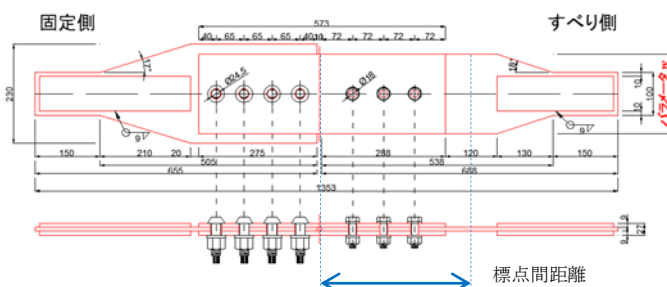


図-1 試験体形状および寸法
(単位: mm, 試験体 w/d11.5-t9 を例に)

表-1 試験体の構造寸法

試験体名	試験体数	軸平行部径 d mm	母板板厚 t_m mm	連結板板厚 t_{sp} mm	縁端距離 e_1 mm	縁端距離/ 軸平行部径 e_1/d	ピッチ/ 軸平行部径 p/d	板幅 w mm	板幅/ 軸平行部径 w/d mm
w/d7.5-t9	3	16	9	9	72	4.5	72	120	7.5
w/d9.5-t9								152	9.5
w/d11.5-t9								184	11.5

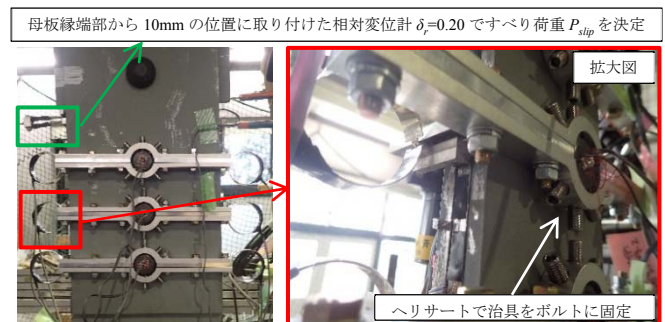


図-2 支圧変形治具

表-2 試験体の設計耐力 (材料試験結果に基づく)

試験体名	試験前 ボルト軸力 N_t kN	すべり 係数 μ	すべり 耐力 P_{slip} kN	ボルトの せん断耐力 P_{bolt} kN	純断面 降伏耐力 P_{yn} kN	すべり降伏 耐力比(設計値) β_d	純断面 引張耐力 P_m kN	端抜け 破断耐力 P_{rip} kN	予想される 破断モード
w/d7.5-t9	103.0	0.45	278	696	279	1.03	412	873	純断面破断
w/d9.5-t9	103.5		280		367	0.78	542		
w/d11.5-t9	103.4		279		454	0.63	671		

表-3 試験結果

試験ケース	試験体名	すべり荷重 ($\delta_r=0.20$) P_{slip}^* kN	純断面 降伏荷重 P_{yn}^* kN	最大 荷重 P_{max} kN	純断面降伏荷重 / 純断面降伏耐力 P_{yn}^*/P_{yn}	最大荷重 / 純断面破断耐力 P_{max}/P_m	すべり荷重 / 最大荷重 P_{slip}^*/P_{max}	純断面降伏荷重 / 最大荷重 P_{yn}^*/P_{max}	最大荷重時変位 - 降伏荷重時変位 $\delta_{max} - \delta_{yn}^*$
w/d7.5-t9	w7.5-t9-1	355	292	413	1.052	0.999	0.862	0.713	19.7
	w7.5-t9-2	356	295	412					
	w7.5-t9-3	354	294	411					
w/d9.5-t9	w9.5-t9-1	395	371	526	1.002	0.974	0.744	0.696	22.9
	w9.5-t9-2	390	368	530					
	w9.5-t9-3	393	363	526					
w/d11.5-t9	w11.5-t9-1	425	440	637	0.969	0.950	0.677	0.691	27.9
	w11.5-t9-2	439	442	640					
	w11.5-t9-3	431	439	636					

キーワード：高力ボルト摩擦接合継手、支圧耐力、すべり後挙動

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 橋梁工学分野 TEL&FAX 06-6605-2765

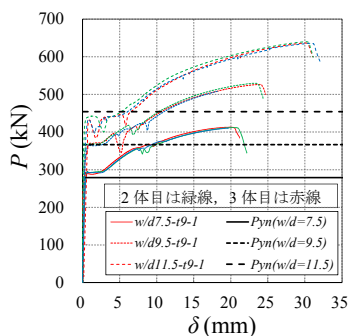
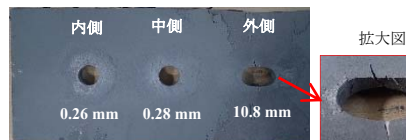
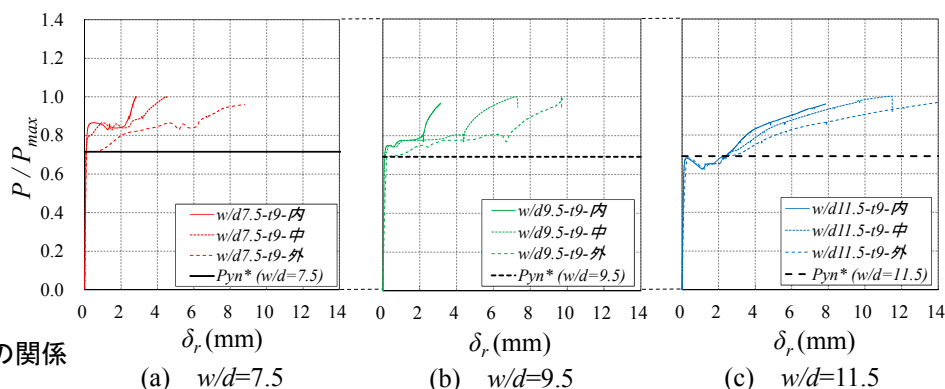
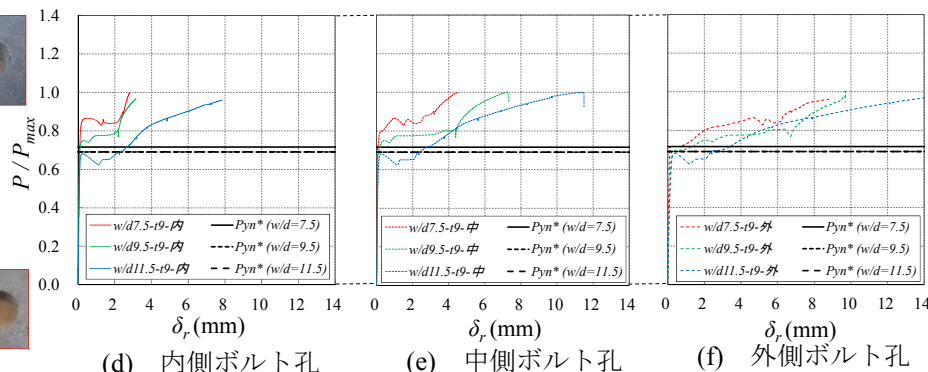
図-3 荷重 P と継手全体変位 δ の関係(a) $w/d=7.5$ ($0.95P_{max}$ で除荷)(b) $w/d=11.5$ ($0.95P_{max}$ で除荷)

図-4 載荷後の状況（残留変形量を記載）

図-5 荷重 P と各ボルト-母板間の相対変位 δ_r の関係

表-3 および図-3 に示すように、 w/d が大きいほど、すべり荷重、最大荷重が大きくなった。特に、すべり荷重や純断面降伏荷重と最大荷重の比率 P_{slip}^*/P_{max} 、 P_{yn}^*/P_{max} 、また、降伏時と最大荷重時の継手全体変位の差 $\delta_{max} - \delta_{yn}^*$ の結果から、継手のすべり後耐力と変形性能が向上していると判断できる。なお、板幅拡大に伴うすべり荷重の増加は、すべり/降伏耐力比 β の影響と考えられる。

w/d が大きくなるにつれて、最大荷重 P_{max} と設計終局耐力（純断面破断耐力 P_m ）の比率 P_{max}/P_m は小さくなった。また、図-4 に示す載荷後の試験体の変形状態からは、 $w/d=11.5$ の各ボルト孔が $w/d=7.5$ の場合よりも均等に変形していた。これは、継手の最大耐力が端抜け破断と純断面破断に複合的に支配されていることを示唆し、文献2)でも確認している。

図-5(a) から図-5(c) に w/d 別の荷重と各ボルト-母板間の相対変位の関係、図-5(d) から図-5(f) には各ボルト孔別の荷重と相対変位の関係を示す。図中には、純断面降伏荷重(実験値) P_{yn}^* を示した。図-5 に示すように、 w/d が大きくなるにつれて、外側ボルト孔だけでなく、他のボルト孔の相対変位も大きくなり、各ボルト孔の変形量が均等化した。

以上より、板幅（実構造物の継手ではゲージ g ）を確保することで純断面降伏や破断を抑制し、その結果、各

ボルト孔の変形量は均等化され、設計終局限界として十分な支圧耐力を確保できると考えられる。

4. まとめ

本研究は1行3列摩擦接合継手を対象に引張試験を行い、母板の純断面降伏に関係する板幅がボルト孔の変形量と支圧耐力の関係に及ぼす影響を考察した。以下に、得られた結果をまとめる。

- 1) 板幅 w (実構造物の継手ではゲージ g) が大きくなるにつれて、すべり後耐力と変形性能は向上した。
- 2) 板幅 w が大きくなるにつれて、試験の最大荷重と単一の破壊モードを想定した設計終局耐力の比率は小さくなる傾向を示した。また、試験後の各ボルト孔の残留変形量は均等化された。
- 3) 板幅 w を大きくすることで、純断面降伏が先行して外側ボルト孔の相対変位のみが増加することなく、各ボルト孔の相対変位が均等化した。

謝辞

本研究は（一社）日本鉄鋼連盟の2015年度「鋼構造研究・教育助成事業」の助成を受けました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

1. 戸田圭彦, 山口隆司, 峯山友紀, 直江康司: 高力ボルト摩擦接合継手の孔変形に基づいた支圧耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1, Vol.70, No.3, pp.333-345, 2014.
2. 森山仁志, 田畑晶子, 山口隆司, 藤林美早: ボルトピッチおよび列数が高力ボルト摩擦接合継手の支圧限界応力に与える影響の基礎的検討, 土木学会論文集 A1, Vol.72, No.1, pp.119-132, 2016.
3. 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2012.