第I部門

ボルト配置が高力ボルト摩擦接合継手のすべり後終局挙動に及ぼす影響

大阪市立大学工学部	学生会員	○佐倉	亮

1. 研究背景および目的

我が国の道路橋設計は,主部材を中心に塑性変形 能を期待する限界状態設計法へ移行しつつある¹⁾. 著者らは,高力ボルト摩擦接合継手の終局限界を, ボルト孔の変形量で規定した支圧に対する限界状態

(以下,変形支圧限界)とすることを提案している ^{2),3)}.変形支圧限界は,ボルト孔の変形量を指標とす ることで,破断に至るまでの耐力と変形能の余裕度 を管理できる点に特徴がある.文献 3)では,母板破 断する1行複数列継手の支圧限界応力が,端抜け破 断と純断面破断の耐力比の凹関数となり,耐力比が 約1.0の状態で最大となることを示した.

本研究では、荷重直角方向のボルト配置間隔(縁 りあき距離 e₂、ゲージg)が降伏限界や破壊モードな ど塑性進展経路、支圧限界応力に及ぼす影響を検討 するために、2行2列継手の引張試験を実施した.

2. 2行2列継手引張試験

表-1 に供試体の構造諸元と設計耐力, 図-1 に供試体の形状をそれぞれ示す.本試験は,試験機の載荷能力を考慮して,すべり側のボルトを M16(F10T)とした縮小試験とした.母板と連結板は SM490Y で製作した.試験パラメータは, ピッチ p を 56 mm(=3.5d, d:ボルト軸平行部径),64 mm(=4.0d),72 mm(=4.5d)と変化させ,縁りあき距離 e₂を 40 mm(= 2.5d),48 mm(= 3.0d),64 mm(= 4.0d)と変化させた.板幅は全ケースで一定とした.

図-2 に載荷状況を示す.計測項目は荷重,継手全体変位,コバ面ひずみ,縁端ひずみ,ボルト孔の変形量,ボルト軸力である.計測機器の設置位置は図-3 に示す.

熊本大学大学院	正会員	森山	仁志
大阪市立大学大学院	正会員	山口	隆司

載荷速度は、試験機の表示荷重が1kN/sとなるよう に、油圧バルブを手動で制御し、載荷速度を調整した.

3. 試験結果

表-2 に試験結果,図-4 に破断状況,図-5 に最大荷 重による無次元化荷重と継手全体変位の関係をそれぞ れ示す.表-2の通り,破壊モードは表-1の設計予想モ ードと一致した. e₂/d=2.5 では全てのピッチで外抜け 破断, e₂/d=3.0 では p/d=3.5 で外抜け破断, p/d=4.0 で 純断面破断, e₂/d=4.0 では中抜け破断であった.中抜け 破断あるいは外抜け破断となった供試体の変形状態は, 引張応力による破断面とせん断応力による破断面の両 方が確認された.中抜け破断の場合のせん断破断面は, 荷重方向に平行とならず,板幅方向に拡がる曲げ引張 型の端抜け破断の性質を示した⁴⁾.

最大荷重と設計破断耐力の比率 Pmax/Pud は, 表-2の



表-1 供試体の構造諸元と設計耐力(鋼板:材料試験結果に基づく,ボルト:ミルシート値に基づく)

試験 ケース	試験 体数	軸平行 部径 <i>d</i> (mm)	ボルト 孔径 <i>d</i> ₀ (mm)	板幅 W (mm)	母板 板厚 <i>t_m</i> (mm)	連結板 板厚 t _{spl} (mm)	端しあき 距離 <i>e</i> 」 (mm)	e ₁ /d	ピッチ <i>p</i> (mm)	ピッチ/ 軸平行 部径 <i>p / d</i>	縁りあき 距離 e_2 (mm)	e 2 / d	ゲージ g (mm)	g /d	想定 すべり 係数 µ _d	想定 すべ (降力 力 β _d	ボルトの せん断 耐力 P _{bod} (kN)	純断面 破断 耐力 P _{tnd} (kN)	端抜け 破断 耐力 P _{sed} (kN)	中抜け 破断 耐力 P _{sid} (kN)	外抜け 破断 耐力 P _{sod} (kN)	設計 破断 耐力 P _{ud} (kN)	予想 される 破壊 モード	外抜け破断 /純断面 引張破断 P _{sod} / P _{tnd}
$p/d3.5-e_2/d2.5$	1								56	6 3.5	40	2.5	136	8.5	8.5 7.5 5.5				871	970	716	716	外抜け	0.88
$p/d3.5-e_2/d3.0$											48	3.0	120	7.5						898	789	789	外抜け	0.97
$p/d3.5-e_2/d4.0$											64	4.0	88	5.5						753	934	753	中抜け	1.14
p/d4.0-e2/d2.5	3	16	18	216	9	9	40	2.5			40	2.5	136	8.5	0.65	0.889	993	816		1007	753	753	外抜け	0.92
$p/d4.0-e_2/d3.0$)								64	4.0	48 3.0 64 4.0	3.0	120	7.5	7.5 5.5				943	934	825	816	純断面	1.01
$p/d4.0-e_2/d4.0$												4.0	88	5.5						789	970	789	中抜け	1.19
$p/d4.5-e_2/d2.5$									72	4.5	40	2.5	136	8.5					1016	1043	789	789	外抜け	0.97

Ryo SAKURA, Hitoshi MORIYAMA, Takashi YAMAGUCHI, sakura@brdg.civil.eng.osaka-cu.ac.jp



通り概ね 1.07~1.17 となり、文献 5)に基づいて算出し た設計破断耐力は安全側の評価をしていることがわか った.最大荷重時の継手全体変位は外抜け破断,中抜 け破断,純断面破断の順に大きくなった.外抜け破断 と中抜け破断の場合は、 ピッチの増加に伴い継手全体 変位も増加した.

縁端降伏荷重 Pve は縁端ひずみが材料試験結果の降 伏ひずみ ενに到達した時の荷重であり,2行分の平均 値を表-2 には示している.また,純断面降伏荷重は, 図-3 に示すいずれかの位置におけるコバ面ひずみが 降伏ひずみ ε_νに到達した時の荷重である. 表-2 に示す ように、これらの降伏荷重と最大荷重の比率 Pye/Pmax, P_{vn}/P_{max} の大小関係は破壊モードと関連があり,外抜け 破断では Pye/Pmax > Pyn/Pmax, 中抜け破断では Pye/Pmax < P_{vn}/P_{max} ,純断面破断では $P_{ve}/P_{max} \Rightarrow P_{vn}/P_{max}$ となり,最 初に降伏した部位から破断している.

ボルト孔変形量がボルト軸平行部軸径 dの10%とな る 10%変形支圧限界での支圧限界応力 σ_{c10}は, 表-2 に 示すように、いずれのケースにおいても降伏点の3倍 程度を確保した、また、最大支圧応力は引張強度の3 倍程度となった.

4. 結論

本研究は2行2列継手の引張試験を行い、荷重直角 方向のボルト配置間隔が降伏限界、破壊モード、支圧 限界応力に及ぼす影響を検討した,得られた結果を以 下に示す.

- (1) 最大荷重と設計終局耐力の比率 Pmax/Pud は概ね 1.07~1.17 となり, 文献 5)の設計終局耐力は安全側 の評価をしていることがわかった.また,破壊モ ードも設計予想モードと一致した.
- (2) 中抜け破断あるいは外抜け破断となった供試体 の変形状態は、引張応力による破断面とせん断応 力による破断面の両方が確認された.中抜け破断 の場合のせん断破断面は,荷重方向に平行となら ず,板幅方向に拡がる曲げ引張型の端抜け破断の 性質を示した.
- (3) いずれのケースにおいても、10%変形支圧限界応 力は降伏点の3倍程度,最大支圧応力は引張強度 の3倍程度となった.したがって,現行の設計基 準における配置間隔の制限範囲内で母板の断面 構成(板幅・板厚)・ボルト本数・配置間隔などを 調整すれば、複数行継手においても高い支圧耐力 を期待できる可能性がある.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18J15508 の助成を受けたものです.こ こに記して感謝の意を表します.

- 参考文献
- 公益社団法人日本道路協会:道路橋示方書・同解説,Ⅱ鋼橋・鋼部材編,
- 2017.11. 例えば、戸田圭介、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. 森山仁志, 杉山裕樹,山口隆司,郎宇:板幅および板厚が高力ボルト摩擦
- 3) 接合継手の支圧限界状態に与える影響,土木学会論文集 A1, Vol. 74, No. 1, pp.28-43, 2018.1.
- 森山仁志,山口隆司,高井俊和:高力ボルト摩擦接合継手のすべり後支圧 4) 耐力に関する実験実績調査,鋼構造年次論文報告集 Vol.25, pp.32-39, 2017 11
- 5) 日本建築学会:鋼構造接合部設計指針, 2012.