

第 I 部門 高強度ねじ付きスタッド薄鋼板摩擦接合継手のすべりおよびすべり後挙動に関する実験的検討

大阪公立大学大学院 学生会員 ○木山 大聖 川田工業株式会社 正会員 岡本 真樹
 川田工業株式会社 正会員 奥原 大貴 川田工業株式会社 正会員 石川 誠
 川田工業株式会社 正会員 吉田 賢二 大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景および目的

合成床版の底鋼板継手部には、図-1 に示す高力ボルト摩擦接合継手が採用されているが、床版下面からの作業を要するため施工性が悪い。そこで、高強度ねじ付きスタッド（以下、スタッドボルト）を底鋼板に溶接し、締め付けることで片面施工を可能とした継手形式が提案されている。これまで、底鋼板厚 8mm に対する検討は行われているが、6mm の薄鋼板に適用した場合のすべり係数およびすべり後挙動は明らかになっていない。そこで、本研究では導入軸力をパラメータとして、スタッドボルトを薄鋼板に溶接した 1 面摩擦接合継手の引張試験を実施し、そのすべりおよびすべり後挙動を評価する。

2. 引張試験の概要

試験体の構造を図-2 に示す。底鋼板厚は 6mm とし、薄鋼板に溶接する際のボルト軸径は母板厚の 2.5 倍以下であることが望ましいことから 2)M16（軸径：14.6mm）スタッドボルトを用いた。導入軸力は、スタッドボルトの鋼種である HT570 材の材料特性を考慮して、線形限界の 0.9, 1.2 倍の N1=43kN, N2=57kN の 2 種類とした 3)。各ケースの試験体数は、N1 を 3 体、N2 を 2 体である。接合面処理はブラスト処理後に無機ジンクリッチペイント（目標膜厚 75μm）を塗布した。添接板のボルト孔は溶接ビードを回避するために拡大孔とし、座金を 2 枚用いた。なお、座金間にボルト軸部に添付したひずみゲージのリード線の導線を確保するためにライナー材を用いた。締付け手順は、6 割締めをした後に本締めを行った。締付け完了後、1 週間静置した後、試験体の破断が生じるまで荷重を行った。荷重には荷重能力 2000kN のアムスラー型万能試験機を使用し、荷重速度 1kN/s を目標に荷重した。材料試験結果を用いて算出した設計耐力を表-1 に示す。設計破断モードはボルトのせん断破断である。

3. 試験結果と考察

試験より得られたすべり荷重、すべり係数、最大荷重を表-2 に示す。

(1) リラクゼーション特性

締付け完了から 7 日間のリラクゼーションによる残存

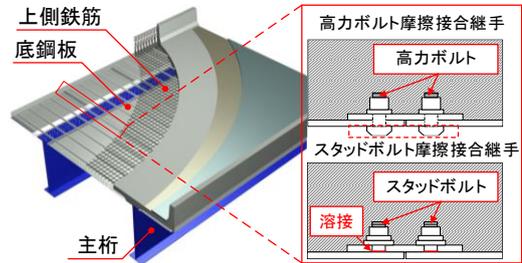


図-1 底鋼板の概要図

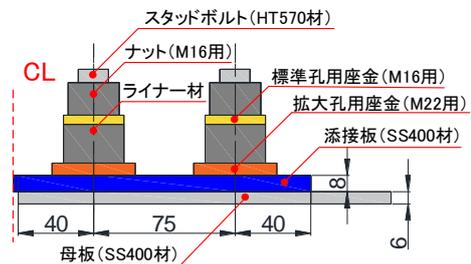


図-2 試験体の構造

表-1 設計耐力

	設計すべり耐力 P_{sd} (kN)	ボルトせん断破断耐力 P_{sd-b} (kN)	母板純断面破断耐力 P_{td-mp} (kN)	添接板純断面破断耐力 P_{td-sp} (kN)	すべり/降伏耐力比 β	設計破断モード
N1	35.1	103.3	209.5	195.9	0.24	ボルトのせん断破断
N2	46.8				0.32	

表-2 引張試験結果

	すべり荷重 P_s (kN)	すべり係数 μ_0	最大荷重 P_{max} (kN)	破断モード
N1-1	53.08	0.631	202.9	添接板の純断面破断
N1-2	53.86	0.670	201.2	
N1-3	55.10	0.669	203.7	
N1-ave	54.01	0.657	202.6	
N2-1	62.44	0.570	204.2	添接板の純断面破断
N2-2	64.44	0.585	204.3	
N2-ave	63.44	0.578	204.3	

軸力の推移の一例を図-3 に示す。本試験は固定側を設けていないため、すべりが発生した側の 2 本のボルトについて示している。締付け完了後の軸力低下は導入軸力によらず約 12 時間後には軸力低下が緩やかになった。試験前の軸力は締付け完了時から 10%程度低下しており高力ボルトと同程度であった 4)。

(2) すべり挙動

表-2 に引張試験結果を示す。すべり荷重はすべりによる荷重低下が生じた時とした。すべり係数 μ_0 は、すべり荷重 P_s を試験前軸力 N_0 で評価したものである。すべり

係数は0.57~0.67となり、全ての試験体が道路橋示方書⁵⁾で規定されている設計すべり係数である0.45を上回った。また、ケースN1のすべり係数がケースN2のそれより13.6%程度高くなり、2面摩擦接合継手を対象とした文献⁶⁾と同じ傾向となった。

ここで、導入軸力の違いに着目する。薄鋼板に溶接されたスタッドボルトに軸力を導入する場合、母板がボルト軸部を中心に反り上がる変形が生じるため、高力ボルト摩擦接合継手のように導入軸力によらず接触面積が一定とはならない。そこで、導入軸力の違いがすべり係数に及ぼす影響を評価するためには、軸力導入時の接触状態について検討する必要がある。材間圧縮力(軸力)と母板の変形の違いが接触面の面圧分布に与える影響をFEM解析より確認した。得られた締付け時の接触圧分布(板幅中央節点から取得)を図-4に示す。これより、ケース間で接触面積は一致しているものの、最大接触圧はケースN2の方が23%程度大きくなっている。このように、薄鋼板にスタッドボルトを溶接した場合においても、接触面積は導入軸力によらず一定であった。導入軸力と平均接触圧には正の相関があることから、導入軸力が増加すると接触圧が高くなり、すべり係数が低下したと考えられる。

(3) 終局挙動

表-2に示すように、最大荷重は導入軸力の違いによらず同程度であった。図-5に示すように試験体の破断モードは全ての試験体で添接板の内側ボルト位置での純断面破断であり、設計破断モードであるボルトのせん断破断は発生しなかった。これは1面摩擦継手では、荷重作用時に板厚方向に偏心曲げの挙動が生じ、その偏心量は遊間部で最大となる。これにより、図-6に示すような支圧力がボルト軸部に対してせん断方向とボルト軸方向に力が作用したと考えられる。そのため、偏心による添接板での偏心曲げ応力の増加、ボルト軸部に作用するせん断力の減少したことによって、添接板の純断面破断が発生したと考えられる。

4. 結論

本研究は、板厚6mmの薄鋼板にM16スタッドボルトを溶接した1面摩擦接合継手のすべりおよびすべり後挙動の把握を目的に、軸力をパラメータとして引張試験を実施した。以下に、得られた結論を示す。

- 1) M16スタッドボルト1面摩擦接合継手のすべり係数は0.57~0.67となり、設計すべり係数0.45を上回った。導入軸力の違いが接触面積に及ぼす影響は小さ

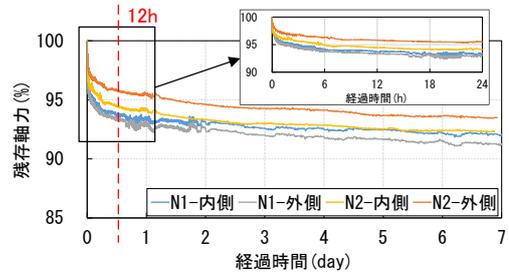


図-3 ボルト軸力のリラクゼーション特性(N1, N2)

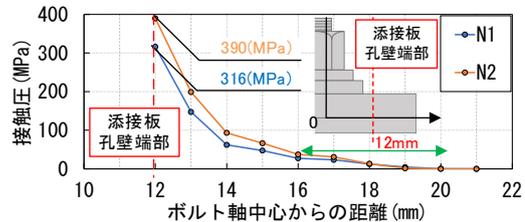


図-4 締付け時の接触圧分布 (FEM解析より)



図-5 試験終了後の試験体の変形状(N1-A)

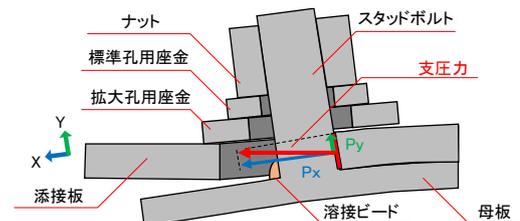


図-6 応力伝達機構のイメージ図

く、軸力が低い方が接合面に作用する接触圧が小さいためすべり係数が高くなる傾向にあった。

- 2) 設計破断モードであるボルトのせん断破断は発生せず、添接板の内側ボルト位置での純断面破断となった。これは、偏心曲げの挙動による変形と応力性状が影響していると考えられる。

今後は、設計終局耐力の精度を向上するため、1面摩擦接合継手のすべり後の荷重伝達機構を詳細に検討していく。

<参考文献>

- 1) 奥原大貴,吉田賢二,山口隆司,吉見正頼,尾籠秀樹: 薄鋼板に高強度ねじ付きスタッドを溶接した摩擦接合継手の導入軸力とすべり挙動に関する研究,構造工学論文集,Vol.65A,pp.399-408,2019
- 2) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 2010
- 3) 岡本真樹,山口隆司,吉田賢二,石川誠,奥原大樹: 高強度ねじ付きスタッドを用いた摩擦接合継手の軸力提案と力学的挙動に関する実験的検討,土木学会第77回年次学術講演会,2022
- 4) 南邦明,田村洋,内田大介,白旗弘実,吉岡夏樹,筒井庸平,藤野大地: 高力ボルト継手のリラクゼーション試験における初期値の設定について,土木学会論文集 A1,Vol.76,No.3,pp.496-509,2020
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書 (II 鋼橋・鋼部材編)・同解説, 2017.11
- 6) 森猛,網谷岳夫,内田大介: 高力ボルト摩擦接合のすべり係数に対するボルト軸力の影響,土木学会論文集,Vol.75A,No.1,pp.58-66,2019