

高強度ねじ付きスタッドを用いた摩擦接合継手の導入軸力の提案とその力学的挙動に関する実験的検討

大阪市立大学大学院 学生会員 ○岡本真樹  
川田工業株式会社 正会員 奥原大貴

大阪市立大学大学院 正会員 山口隆司  
川田工業株式会社 正会員 吉田賢二  
川田工業株式会社 正会員 石川誠

1. 背景および目的

高強度ねじ付きスタッド（以下、スタッドボルト）はボルトを母板に直接溶接し、締め付けることができるため、合成床版の底鋼板継手部などに用いることで片面施工を可能とする。本研究では図-1 に示す、底鋼板厚の薄い合成床版の底鋼板継手部に適用することを検討している。しかし母板が薄板の場合、締め付けにより導入されたボルト軸力の影響で、母板の塑性化あるいは破断が生じる可能性があり、その継手性能は明きらかでない。

本研究では、薄板を有する摩擦接合継手に適用するスタッドボルトの導入軸力を提案し、引張試験によりその継手性能を評価した。

2. 引張試験の概要

試験体の構造、寸法および計測位置を図-2、図-3 に示す。試験体は両側スタッドボルトとし、母板厚は6mm、添接板厚は8mmとした。摩擦面処理は75 $\mu$ mの無機ジンクリッチペイントとし、スタッドボルトの溶接カラー部を回避するため、添接板は拡大孔とし、座金を2枚用いた。さらにボルト軸部に添付したひずみゲージを逃がすため、座金とナット間に実験用ライナー材を用いた。本試験では導入ボルト軸力を変化させ、その設定に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た。これは、HT570材は非調質鋼特有の非線形性を呈するためである。具体的には、キャリブレーション試験より得られた応力-ひずみ関係（図-4）より、その線形範囲の軸力（線形限界 $\times 0.9$ 、 $N_l=67\text{kN}$ ）と非線形範囲の軸力（線形限界 $\times 1.2$ 、 $N_{nl}=89\text{kN}$ ）とした。なお線形限界は、初期剛性より約10%変化した時とし、公称降伏応力に対し約0.6倍となる。試験は各ケース3体ずつ実施した。設計耐力を表-1 に示す。設計耐力の算出には材料試験の値を用いた。これより、終局状態はボルト軸部のせん断破断と予想される。締め付けは、6割締めした後、本締めを行った。締め付け完了後、リラクゼーションによる軸力低下

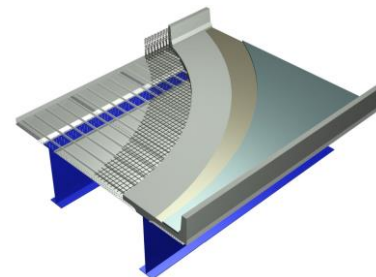


図-1 合成床版底鋼板のイメージ図<sup>1)</sup>

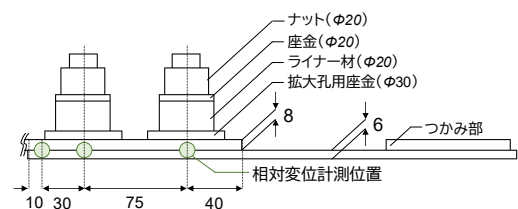


図-2 引張試験体の構造および計測位置 (mm)

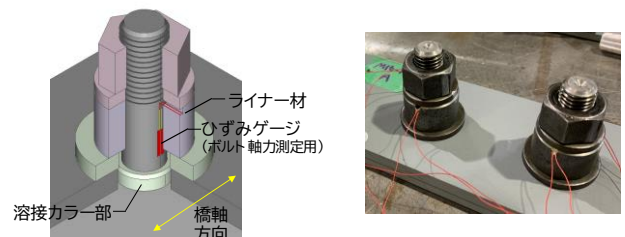
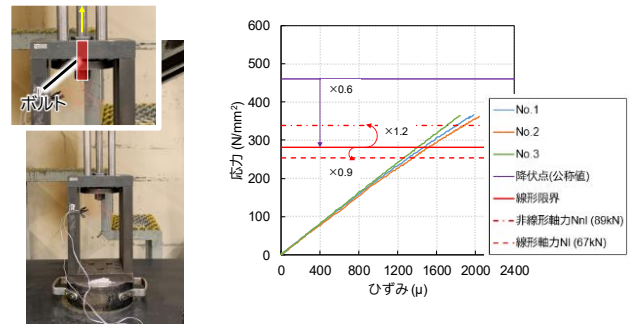


図-3 継手部の構造詳細 (実構造はライナー材無し)



(a) 試験時 (b) 応力-ひずみ関係

図-4 応力-ひずみ関係 (キャリブレーション試験)

表-1 試験体の設計耐力

Case	導入軸力 N (kN)	設計 すべり 耐力 $P_{sl}$ (kN)	母板 線形範囲 降伏耐力 $P_{y-lim}$ (kN)	添接板 線形範囲 降伏耐力 $P_{y-lim}$ (kN)	ボルトの せん断 耐力 $P_{sb}$ (kN)	母板 線形範囲 耐力 $P_{sl-mp}$ (kN)	添接板 線形範囲 耐力 $P_{sl-mp}$ (kN)	添接板 端部 破壊耐力 $P_{sl}$ (kN)	予想終局 モード
M20_Nl	67	54.8	241.7	212.3	130.1	332.6	324.6	392.2	ボルトの せん断破断
M20_Nnl	89	72.8	241.7	212.3	130.1	332.6	324.6	392.2	ボルトの せん断破断

を考慮し一定期間静置したのち、載荷を行った。なお、試験直前のボルト軸力（以下、試験前軸力）の低下率は、締め付け完了時と比較して10%程度であり、文献2)より高力ボルトと同程度であることがわかった。

キーワード 高強度ねじ付きスタッド、底鋼板継手、すべり挙動、引張試験

連絡先 〒558-8585 大阪府住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 工学研究科 橋梁工学研究室 TEL 06-6605-2765

### 3. 試験結果と考察

#### 3-1. すべり挙動

引張試験結果を表-2に示す。すべり耐力は、文献3)を参考に母板と添接板の相対変位量が0.2mmに達した時とした。すべり係数は試験前軸力より算出した。各ケースの平均値を赤字で示している。これより、導入軸力に関わらず平均値ではすべり係数として0.4を確保できることが分かる。ただしケース $N_I$ ではケース $N_{NI}$ と比較して、すべり係数が低下する傾向にあった。

荷重-相対変位関係を図-5に示す。縦軸、横軸ともにすべり時の値で除して無次元化している。計測位置は添接板縁端部より10mm位置である。これより、ケース $N_I$ の方がすべり量は大きくなるのがわかる。これは軸力が低いことで、母板と添接板間の接触圧が低下し、すべり量が増加したためと考えられる。試験前軸力に対するすべり時軸力の変化率を図-6に示す。軸力は、すべりが最初に生じた側の内側ボルトのものである。これより、内側ボルトのすべり時軸力は試験前軸力と比較して増加した。またケース $N_I$ はケース $N_{NI}$ よりも3.4%高くなった。軸力増加のメカニズムのイメージを図-7に示す。スタッドボルトは、ボルトが母板に溶接されているため、母板の軸方向の変形にボルトが追随し引張られるように変形する(a)。また添接板には偏心曲げの影響により面外変形が生じる(b)。これらの挙動により、ボルト軸部には引張力が生じ、軸力が増加する(c)。しかしながら摩擦面では、添接板と母板間の空隙が増加し、接触圧が低下することですべりが生じる(d)。ケース $N_I$ ではすべり量が多くなることで、(a)の影響が大きくなり、軸力増加率がケース $N_{NI}$ よりも高くなるとともに、すべり係数が低下したと考えられる。

#### 3-2. 終局挙動

表-2より各ケースの最大耐力は導入軸力にかかわらず、同程度となり、設計のボルト軸部のせん断耐力および母板総断面の降伏耐力以上となった。また破断性状は、いずれのケースでも内側ボルトの溶接部のせん断破断となった。試験後の試験体の変形性状を図-8に示す。このような破断性状は、添接板厚が薄いことによりボルト溶接部に支圧力が生じたことに加え、母板の橋軸方向の変形にボルトが追随したことによりボルト溶接部に引張力が生じたためと考えられる。

#### 4. まとめ

表-2 試験結果

Case	実験すべり荷重 $P_s$ (kN)	試験前軸力 $N_I$ (kN)	すべり係数 ( $=P_s/N_I/2$ ) $\mu_1$	最大耐力 $P_{max}$ (kN)	破断形式
M20-NI-A	49	62	0.39	279	-
M20-NI-B	55	58	0.47	275	内側ボルト溶接部のせん断破断
M20-NI-C	51	65	0.39	278	-
平均	52	62	0.42	277	-
M20-NNI-A	72	76	0.47	287	-
M20-NNI-B	71	79	0.45	279	内側ボルト溶接部のせん断破断
M20-NNI-C	65	83	0.39	285	-
平均	69	79	0.44	284	-

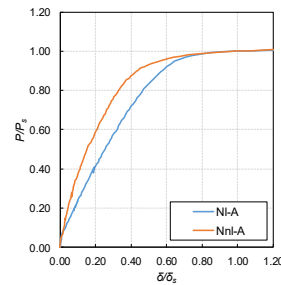


図-5 荷重-相対変位

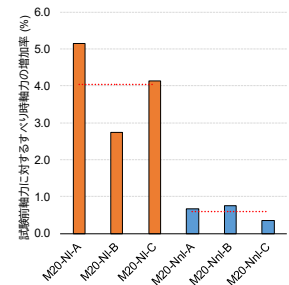


図-6 軸力変化率

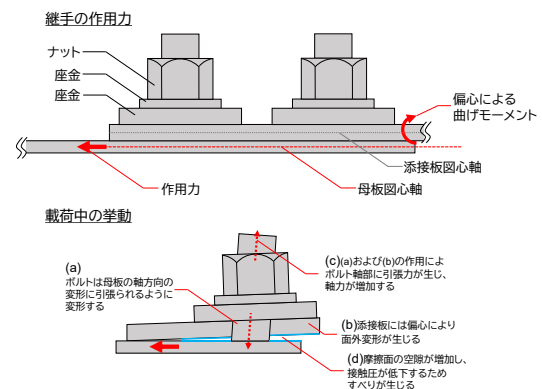


図-7 軸力増加のメカニズム

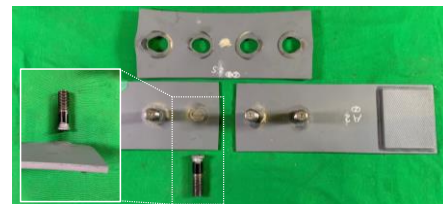


図-8 試験体の変形性状 (例: M20-NI-B)

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 2種類の軸力のいずれでも平均値ですべり係数として0.4を確保できるが、軸力が高い方がすべり係数も高くなる傾向にあった。
- ボルト軸部でのせん断破断は生じず、溶接部でのせん断破断となり、ボルト軸部の設計破断耐力および母板の総断面降伏耐力以上となった。
- 母板厚6mmにスタッドボルト(M20, HT570)を用いる場合、ボルト鋼種の材料特性の非線形領域までの高い軸力を導入することが望ましい。

#### 参考文献

- SCデッキ・スタッドレス設計・施工マニュアル(案), 2020.9
- 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セ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
- 土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2006