

横向き溶接した トルシア形高カスタッドボルトに関する検討

REPORT ON HORIZONTALLY WELDED TORQUE SHEAR TYPE HIGH STRENGTH STUD BOLT

岑山 友紀* 篠田 隆広**
 Yuki Mineyama Takahiro shinoda

波形鋼板ウェブ橋の完成形拡幅工事において、既設床版の両側に新設床版を増設し、鋼製ストラットで支持する計画である。鋼製ストラットの下端接合部(波形鋼板ウェブとガセットプレートの接合部)は、呼び径 M20 のトルシア形高カスタッドボルトによる摩擦接合を採用する予定である。この際、波形鋼板ウェブにスタッドボルトを横向き溶接する必要があるが、これまでそのような実績はなく、横向き溶接では溶接基部のカラーが均一に形成されない可能性があり、その影響が懸念される。そこで、本研究では、横向き溶接したスタッドボルトの引張強度、すべり係数を確認した。

キーワード：横向き溶接，引張強度，さび促進剤，すべり係数

1. はじめに

完成形拡幅工事を行っている新名神高速道路杉谷川橋(下り線)は波形鋼板ウェブ橋で、現在は暫定形で供用中である。完成形は、**図-1**に示すように既設床版の両側に新設床版を拡幅してストラットで支持する計画である¹⁾。鋼製ストラットを支持する下端接合部は、**図-2**に示す構造で、波形鋼板ウェブとガセットプレートの接合には横向き溶接したトルシア形高カスタッドボルト(以下、スタッドボルト)による摩擦接合を採用する計画である。しかし、M20のスタッドボルトを横向き溶接した実績はなく、横向き溶接では、下向き溶接のように溶接基部のカラーが均一に形成されない可能性があり、その影響が懸念される。また、既設橋のウェブ最小板厚は 10mm であり、ボルト締結時の導入軸力で母材が降伏する懸念がある。さらに、既往の研究²⁾では、スタッドボルトを用いた一面摩擦接合継手について、すべり試験によりすべり係数が 0.4 以上となることが確認されているが、その使用実績は少ない。また、既設部材の塗装を動力工具等により除去した場合、接合面の粗さが小さくなり、設計で求められているすべり係数を確保できない可能性がある。なお、本橋では、桁内側の補強が困難なため、スタッドボルトの設置はウェブ背面に下床版コンクリートが存在する範囲に限定され、配置本数に制約を受ける。そのため、摩擦接合面にさび促進剤「ヒットロック K(NETIS:KT-190017-A)」³⁾を適用し、すべり係数向上を図った。本稿では、横向きに溶接したスタッドボルトの引張強度を確認するとともに母材の降伏に関して検討した結果を報告

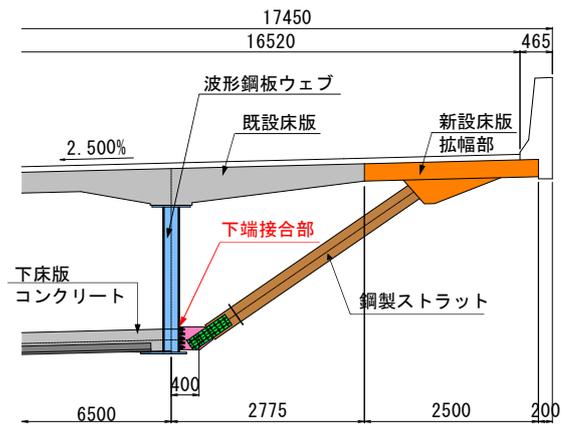


図-1 構造概要図(単位:mm)

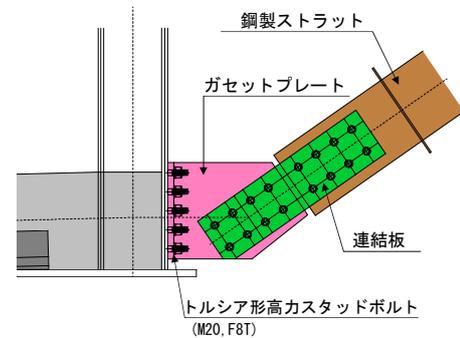


図-2 下端接合部

する。さらに、スタッドボルトを用いた一面摩擦接合継手の試験体を用いて、接合面処理をパラメータとしたすべり試験を行い、さび促進剤がすべり係数に与える影響を検討した結果を報告する。

* 技術開発本部 橋梁設計部 大阪設計課
 ** 技術開発本部 橋梁設計部 (現: 鋼構造生産本部 富津工場 設計部)

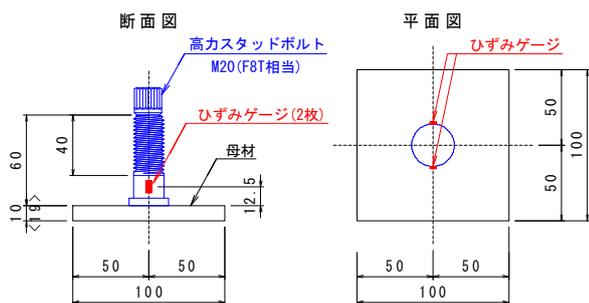


図-3 試験体詳細図(単位:mm)

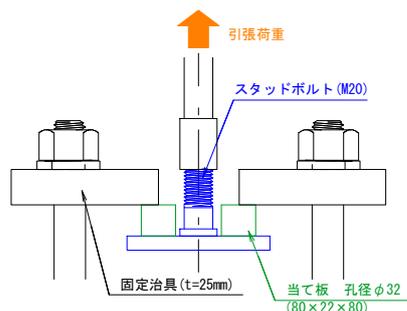
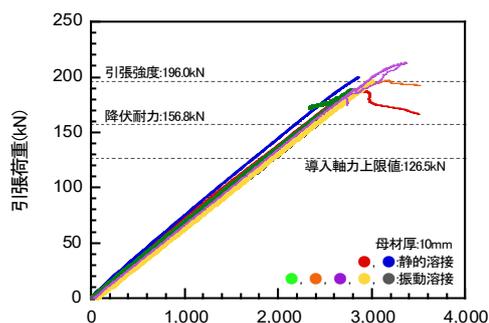


図-4 引張試験概要図

2. スタッドボルトの引張試験

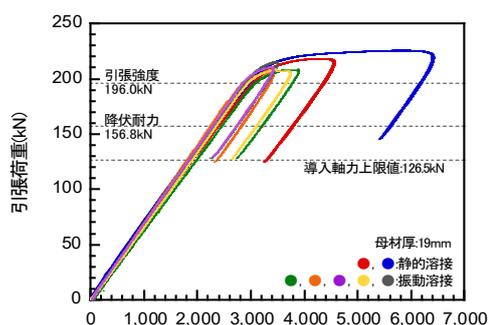
2.1 試験概要

試験に用いた試験体詳細図を図-3、引張試験概要図を図-4に示す。鉛直に設置した母材にスタッドボルトを横向きで溶接した。スタッドボルトには熱処理を施しており、JIS B 1186でF8Tに求められる耐力 640N/mm^2 にねじ部の有効断面積 245mm^2 を乗じた値は 156.8kN (以下、降伏耐力)、引張強さ 800N/mm^2 にねじ部の有効断面積を乗じた値は 196.0kN (以下、引張強度)となる。本橋で採用するスタッドボルトの導入軸力は、ストラット下端接合部の設計に合わせ、 110kN に対して $\pm 15\%$ の $93.5\sim 126.5\text{kN}$ で管理する。溶接は、母材を静置した条件(以下、静的溶接)に加え、実施工を想定して母材を振動させた条件(以下、振動溶接)でも行った。振動の条件は、実橋の振動計測⁴⁾で得られた最大振幅が生じた際の変位 (3.1mm)および振動数 (2.6Hz)と振動機の加振可能な振動数に基づき、振幅 3.1mm 、振動数 3.0Hz とした。母材厚は、本橋の波形鋼板ウェブの最小板厚である 10mm と、スタッドボルトの全強を得られる最小板厚である 19mm とした。引張試験は JIS Z 2241 に準拠し、スタッドボルト溶接部への荷重集中を避けるため、実構造物のガセットプレートを模した当て板を設置した。試験体は、母材厚 10mm 、 19mm とともに静的溶接が 9 体、振動溶接が 5 体とした。スタッドボルト基部にひずみゲージを設置したのは、静的溶接 9 体中の 2 体、振動溶接の 5 体全てである。



ボルト軸ひずみ(μ)

図-5 母材厚 10mm の試験結果



ボルト軸ひずみ(μ)

図-6 母材厚 19mm の試験結果

2.2 試験結果

図-5は、母材厚が 10mm の試験から得られた引張荷重とスタッドボルト基部で計測したひずみの関係を示している。この図から、静的溶接および振動溶接のいずれも荷重-ひずみ関係や引張強度に明らかな差は見受けられないが、ひずみゲージを設置していない静的溶接の供試体を含む 9 体のうち 2 体および振動溶接の 5 体のうち 2 体は引張強度 196.0kN を下回った。計 4 体の試験結果が引張強度 196.0kN に達しなかったのは、全 14 体中の 12 体の破壊形態が母材からの抜けであったことに起因し、図に示すスタッドボルトの荷重とひずみの関係が降伏後に複雑な挙動を示しているのはその影響である。スタッドボルトの溶接不良に起因する破壊は認められなかった。図-6は、母材厚が 19mm の試験から得られた引張荷重とスタッドボルト基部で計測したひずみの関係を示している。この図からも、静的溶接および振動溶接のいずれも荷重とひずみの関係や引張強度に明らかな差は見受けられず、静的溶接および振動溶接を行った全 14 体の全てが引張強度 196.0kN を上回った。破壊形態は、すべてスタッドボルトねじ部の破断であった。以上の結果より、母材厚 10mm および 19mm の全ての試験結果は、スタッドボルトの導入軸力の上限值である 126.5kN および降伏耐力 156.8kN を上回っており、設計で要求される耐荷性能を満足していることを確認した。

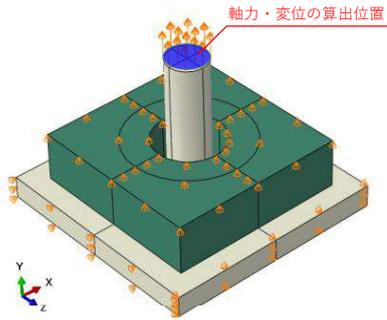


図-7 非線形 FEM 解析モデル

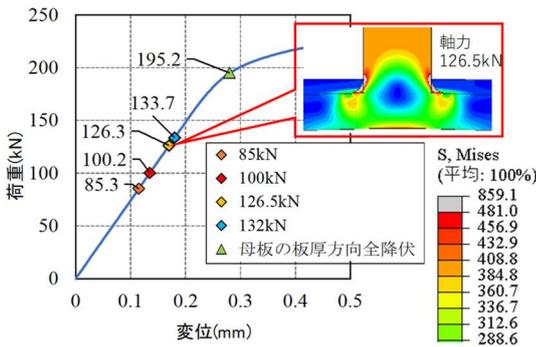


図-8 荷重-変位(ボルト天端)関係と Mises 応力コンター図

母材厚が 10mm の場合、多くの供試体の破壊形態が母材抜けであり引張強度に達していない結果も得られたため、非線形 FEM 解析を用いて軸力導入時の母材の挙動および応力分布を確認した。解析モデルおよび解析結果を図-7 および図-8 に示す。解析モデルには、スタッドボルト溶接基部のカラーも考慮した。その結果、荷重とボルト頭部の変位関係が非線形挙動を示すのは荷重が約 180kN を超えてからであり、破壊モードは母材降伏先行であることが確認できた。また、Mises 応力コンター図より、導入軸力の最大値 126.5kN で降伏域はカラー部に留まり、母材の降伏には至らないことが分かった。

3. スタッドボルトのすべり試験

3.1 試験概要

すべり試験体の形状および寸法を図-9 に、接合面の構成を図-10 に示す。本試験では母材に既設の塗装系である I 塗装系の下塗り塗装を塗布し、連結板に無機ジンクリッチペイントを塗布した。試験時には母材と連結板それぞれに接合面処理を施し、処理方法を本試験のパラメータとした。すべり試験の試験ケースと接合面処理を表-1 に示す。母材および連結板は SM490Y 材、すべり側はスタッドボルト(呼び径 M20, F8T 相当)とし、固定側は高力ボルト(呼び径 M22, F10T)とした。スタッドボルトは実施工を想定して横向き姿勢で溶接した。さび促進剤を塗布する試験体については、さび促進剤塗布後、屋内

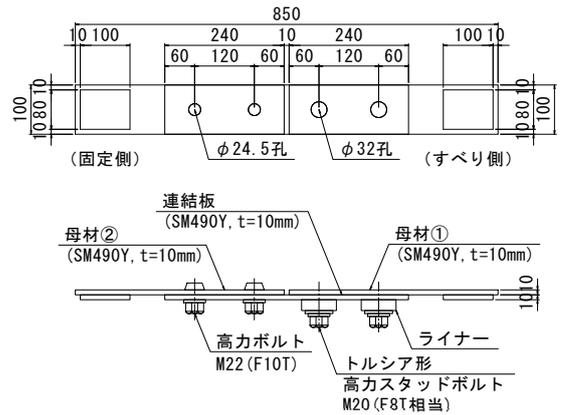


図-9 すべり試験体形状および寸法(単位:mm)

母材②: 固定側 (ケレン, さび促進剤)	母材①: すべり側 (ケレン, さび促進剤)
連結板: 無機ジンク, さび促進剤	

図-10 接合面の構成

表-1 試験ケースと接合面処理

試験ケース	接合面処理		試験体数(体)
	母材(接触面A)	連結板(接触面B)	
NZ	ケレン	無機ジンクリッチペイント	3
RZ	ケレン後 さび促進剤	無機ジンクリッチペイント	3
RR	ケレン後 さび促進剤	ケレン後 さび促進剤	6

ケレン: Ra ≤ 5.0μm
無機ジンクリッチペイント: 塗装厚75.0μm以上
さび促進剤: 100g/m² × 2回

で 24 時間暴露した後、スタッドボルトを締め付けた。試験体のすべり/降伏耐力比は 0.28 であり、すべり先行型とした。すべり荷重は、鋼構造物接合部設計指針⁵⁾を参考に、内側ボルト位置で母材と連結板の相対変位が 0.2mm となるまでに最大荷重が生じた場合はその最大荷重を、そうでない場合は内側ボルト位置で相対変位が 0.2mm に達した荷重と定義した。

3.2 試験結果

ボルト締付から約 216 時間(9 日間)後の各ケースの軸力残存率を図-11 に示す。リラクセーションによるボルト軸力残存率は、ケース NZ が 86.4%, ケース RZ が 90.3%, ケース RR が 91.2% となり、いずれも同程度であった。各ケースのすべり係数を図-12 に示す。すべり係数は、文献 6) より、下式を用いて算出した。

$$\mu = \frac{p}{m \cdot n \cdot N}$$

ここに、μ: すべり係数, p: すべり荷重(kN), m: 接合面の数(=1), n: ボルト本数(=2), N: 試験前ボルト軸力(kN)である。

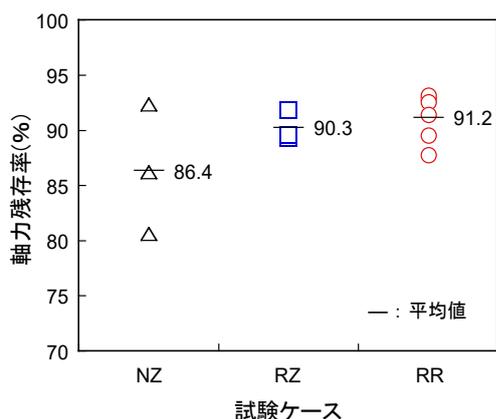


図-11 ボルト締付から約 216 時間後の軸力残存率

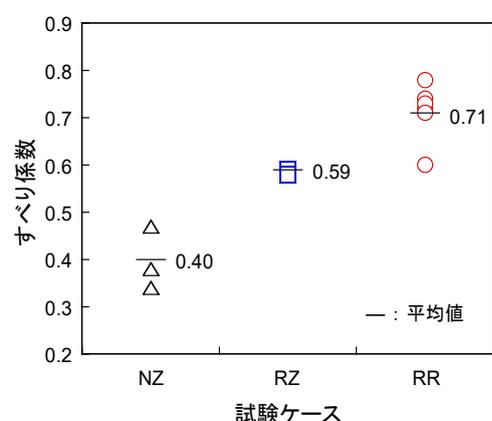


図-12 すべり係数

ケース NZ はすべり係数が 0.34~0.47 であり、既往の研究⁷⁾と同様に 0.40 以下となる結果も得られた。ケース RZ は 0.58~0.59、ケース RR は 0.60~0.78 であり、いずれも 0.40 以上となった。また、ケース RR はケース RZ よりすべり係数が大きく、0.40 を大きく上回る結果となった。すなわち、各ケースのすべり係数を比較すると、ケース NZ、ケース RZ、ケース RR の順に大きくなった。

4. おわりに

静置および振動下でスタッドボルトを横向き溶接して引張強度を確認するとともに母材の降伏に関する検討した。さらに、スタッドボルトを用いた一面摩擦接合継手の試験体を用いて、接合面処理をパラメータとしたすべり試験を行った。

1)スタッドボルトの横向き溶接は、静置と振動のいずれの条件でも引張強度に大きな影響を及ぼさず、耐荷性能に問題ないことが確認できた。また、非線形 FEM 解析の結果より、想定される最大軸力を導入した場合でも、実構造の母材である波形鋼板ウェブに降伏は生じないことが確認できた。

2)スタッドボルトを用いた一面摩擦接合継手の試験体を

用いてすべり試験を行い、すべり係数を比較した結果、①さび促進剤を塗布した接合面を有する試験体では全てのケースにおいてすべり係数が 0.40 以上であった。

②母材と連結板の両面にさび促進剤を塗布した場合、すべり係数の平均値は 0.71 であり、0.40 を大きく上回る結果であった。

③さび促進剤を塗布した面を有していない試験体では、設計値である 0.40 を下回る試験体があり既往の研究と同じ結果となった。

謝辞

本研究は、杉谷川橋(下り線)(PC 上部工)設計・工事(設計業務)(発注者:西日本高速道路株式会社 関西支社新名神大津事務所)の研究業務をピーエス・コンストラクション(株)より業務委託を受け、その一部を報告したものである。また、実験に協力いただいた大阪公立大学 大学院 工学研究科 山口隆司教授および学生諸氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 河中涼一, 橋野哲郎, 福田雅人, 井田和輝: 波形鋼板ウェブ橋のストラット下端接合部に関する検討—杉谷川橋 下り線—, プレストレストコンクリート工学会 第 32 回シンポジウム論文集, pp.119-122, 2023.10.
- 2) 彭雪, 山本佑大, 山口隆司, 田畑晶子, 奥村学: スタッドボルト摩擦接合継手の接合面塗膜のすべり係数への影響, 鋼構造年次論文報告集, Vol.26, pp.293-300, 2018.11.
- 3) 吉岡夏樹, 桑原英之, 橋肇, 阿部勝博: さび促進剤の適用による高力ボルト摩擦接合面におけるすべり係数の向上, 土木学会第 76 回年次学術講演概要集, I-183,2021.9.
- 4) 井田和輝, 福田雅人, 橋野哲郎, 西濱智博: 供用下にある波形鋼板ウェブ橋を拡張するための振動計測, 土木学会第 78 回年次学術講演概要集, CS6-51, 2023.9.
- 5) (社)日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, pp.446-453, 2006.3.
- 6) (社)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), p.45, 2006.12.
- 7) 丹波寛夫, 行藤晋也, 木村聡, 山口隆司, 杉浦邦征: 接合面が鋼材粗面と無機ジンクリッチペイント面の高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の提案, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.70, No.1, pp.137-149, 2014.3.