

# 研 究 報 告

令和 7 年 4 月 21 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者：松田頼征

所 属 ： 工学院大学 建築学部建築学科

氏 名 ： 松田頼征

研究課題名：高力ボルト摩擦接合継手と頭付きスタッドによる鋼梁－  
コンクリートスラブ間のせん断力伝達の解明

助成金額： 100 万円

研究実施期間：自 令和6年4月1日 ～ 至 令和7年3月31日

## 高力ボルト摩擦接合継手と頭付きスタッドによる鋼梁－コンクリートスラブ間のせん断力伝達の解明

Elucidation of shear connection between steel beam and concrete slab using friction type high strength bolted joints and headed studs

工学院大学建築学部建築学科 准教授 松田頼征

### （研究計画ないし研究手法の概略）

#### 1. はじめに

鋼構造建物の梁は合成梁であることが一般的であり、鋼梁上フランジに溶接されたシアコネクタが鋼梁とコンクリートスラブ（以下、スラブ）間でせん断力を伝達することで一体化を図っている。シアコネクタには頭付きスタッド（以下、スタッド）が広く用いられ、設計指針においてはスパン内に配置されるスタッドのせん断耐力の総和を危険断面の圧縮耐力とし、ひいては合成梁の全塑性モーメントが算出される。一方で、鋼梁に施工される高力ボルト摩擦接合による梁継手部（以下、梁継手部）にはスタッドを溶接できない（写真1）。そのため、梁継手部での鋼梁－スラブ間のせん断力伝達は設計上考慮されていない<sup>1)</sup>。



写真1 梁上の梁継ぎ  
手部と頭付きスタッド

著者らは梁継手部によるシアコネクタ性能を検証するために、押抜き試験を梁継手部に適用した実験を正負繰返しで実施した<sup>2)</sup>。その結果、梁継手部はスタッドに比して、顕著な耐力低下を発現する一方で、高いずれ剛性（鋼梁－スラブ間の相対変位に対する抵抗力）とせん断耐力を有することが明らかになった。

本研究は、スタッドと梁継手の連成と梁継手部の影響がせん断力伝達機構に及ぼす影響を解明し、有用な解析・設計方法の構築に貢献する。具体的には、前述したスタッドの設計のように、梁継手部とスタッドが耐力的に並列の関係で扱えるかを確認する。また、梁継手部を有するスラブの破壊性状についても確認する。

#### 2. 実験概要

図1に押抜き実験の概要と荷重・変位の計測を示す。図中の試験体は後述する試験体3（梁継手部とスタッドを有する）である。試験体は上部で載荷治具を介してアムスラーと繋がり、下部で反力治具と繋がる。実験は単調載荷として、アムスラーにより荷重  $P$  を試験体に加え、スラブに圧縮力を作用させる。その際の鋼梁－スラブ間のずれ変位  $\delta$  と鋼梁ウェブと反力治具との相対変位  $u$  を計測する。 $\delta$  と  $u$  は、試験体の2面あるスラブの両側で計測し、その平均値を用いる。写真2に実験のセットアップを示す。梁継手部を対象とした押抜き実験では、載荷中にスラブが鋼梁フランジから剥離することが考えられるため、スラブ両面を挟むように木材と全ねじ棒で構成される剥離防止治具を試験体に取り付けた。なお、剥離防止治具が加える力が実験結果に影響を及ぼすことも考えられるため、この影響を極力小さくするために、全ねじ棒に作用する張力は1kN程度以下としている。

図2に試験体の打設方向を示す。本試験体では、梁軸方向と平行で、スタッド軸と直交す

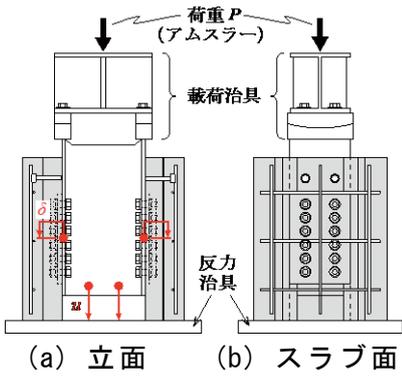


図1 梁継ぎ手部の押抜き実験概要



写真2 実験セットアップ

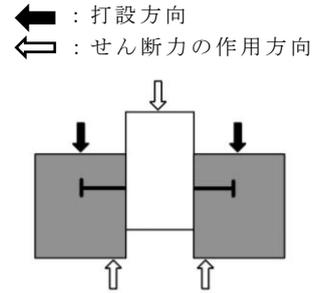


図2 打設方向

る方向からコンクリート打設した。この打設方向は、弾性時での相対ずれと残留ずれが大きくなり、かつコンクリートをスタッドの頭部から軸方向に打設した場合と、スタッドの根元から軸方向に打設した場合の中間程度の最大耐力を示す<sup>3)</sup>。図3に各試験体のデッキプレートと鉄骨部の立面図、表2に試験体一覧を示す。全ての試験体に共通して、試験体の鉄骨部はRH-340×250×9×14のH形鋼、後述する試験体1, 2, 8を除いてM22 (F10T)の高力ボルトを有する。また、スラブは1体の試験体につき2面打設し、Fc24で調合した普通コンクリート、75mmのデッキ溝、1.2mmのデッキプレート、85mmの等厚コンクリート、D10の異形鉄筋 (SD295, @200) で構成した。鋼梁上部から入力される荷重Pをスラブ、反力治具に伝達するために、試験体の鋼梁下部には100mmのクリアランスを設けた。コンクリートの材料試験結果を表2に示す。

試験体1 (図3a) は、梁継手部を有する試験体である。高力ボルトを2行6列で直線配置し、スプラインプレートの板厚を19mmとした。試験体1は試験体3の梁継手部であり、図4から上フランジから高力ボルト先端までの距離はデッキ溝の0.75倍程度である。

試験体2 (図3b) はスタッドによる鋼梁-スラブ間のせん断力挙動のみを抽出する試験体であり、軸径19mm、首下長さ130mmのスタッドを、スラブ片面につき2行1列で配置した。なお、設計指針<sup>1)</sup>と表2に示したコンクリートの機械的性質に基づく、スタッド1本あたりのせん断耐力は123kNである。

試験体3 (図3c) はスタッドと継手部の連成を確認するために、試験体1と同じ梁継手と、試験体2と同じスタッドを設置した。設計指針において、シアコネクタの耐力の足し合わせ

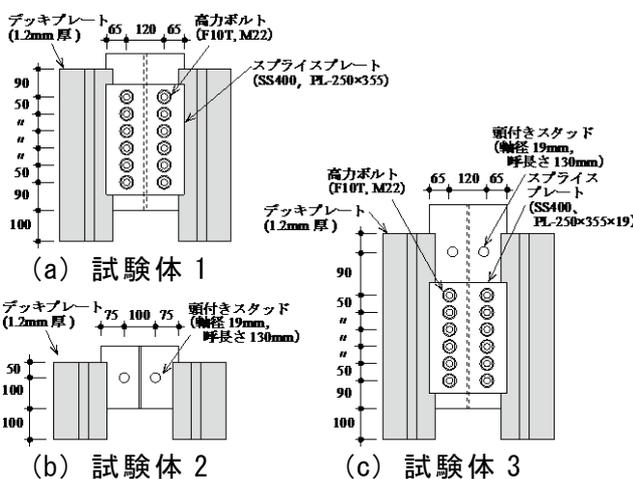


図3 試験体概要

表1 試験体概要

試験体番号	スタッドの有無	高力ボルトの列数	高力ボルトの配置	スプラインプレートの板厚
1	無	6	直列	19
2	有	無	無	無
3	有	6	直列	19

表2 コンクリートの機械的性質

圧縮強度	弾性係数
N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
28.3	26.9



図4 スラブ断面図 (試験体3)

に基づいて合成梁が設計されるため、梁継手（試験体 1）とスタッド（試験体 2）の耐力の足し合わせが可能であるかを検証する。図 4c から、上フランジから高力ボルトの先端までの距離はスタッド長さの 0.43 倍程度である。

### 3. 実験結果

#### 3.1 ずれ剛性と最大耐力

表 3 に各試験体のずれ剛性最大耐力を示す。ずれ剛性はスラブ 1 面あたりに作用する荷重  $P/2$  とずれ関係から得られる 0.1mm までの範囲で最小二乗近似から得た初期剛性を、スプライスプレート長さ（試験体 1,3）、仮定したスタッドピッチ（200mm、試験体 2）で除した値である。梁継手を有する試験体 1,3 は、スタッドのみを有する試験体 2 よりも、ずれ剛性と最大耐力が高く、梁継手によって高いずれ剛性を有することが確認される。また、ずれ剛性が 1kN/mm/mm 以上では工学的にずれがないと見做せ<sup>4),5)</sup>、さらに 2kN/mm/mm 以上で数理的検討に基づいてシアコネクタはほぼ剛体と見做せる<sup>6)</sup>。よって、試験体 3 のずれ剛性は試験体 1 の 2 倍ほどあるが、両者のずれ剛性の大きさに有意な差はない。

表 3 各試験体最大耐力と  
ずれ剛性

試験体番号	試験体概要	ずれ剛性 kN/mm/mm	最大耐力 kN
1	梁継手のみ	7.46	832
2	スタッドのみ	1.27	230
3	梁継手+スタッド	15	961

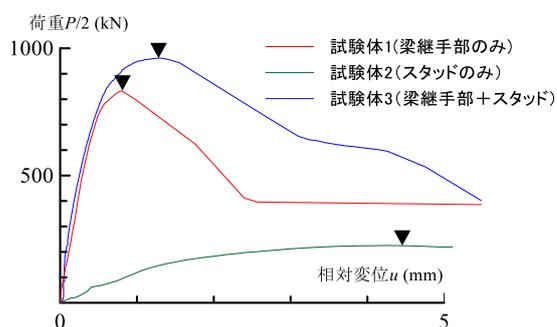


図 5 各試験体の  
荷重  $P/2$  - 相対変位  $u$  関係

#### 3.2 梁継手部のシアコネクタとしての機能の可能性

図 5 に各試験体の荷重  $P/2$ -変位  $u$  の関係を示す。図中のシンボルは、最大耐力を発揮したステップである。スタッドのみの試験体 2 は  $u=4.3\text{mm}$  で最大耐力を発揮することに対し、梁継手を有する試験体 1,3 でそれぞれ 0.8, 1.3mm であり、梁継手を有すると早期に最大耐力に達する。そして、梁継手を有する試験体 1,3 の方が、スタッドのみの試験体 2 よりずれ剛性と最大耐力が高いが、図 5 から耐力低下が急である。

梁継手を有する試験体 1 は、スタッドのみの試験体 2 よりも 3.6 倍（ $=830/230$ ）の最大耐力を発揮している。また、スプライスプレートの長さが 355mm であることから、継手によって配置できないスタッドが 4 本であると考えられる。また、試験体 2 の結果からスタッド 1 本あたりのせん断耐力が 123kN と求まる。従って、試験体 1 の継手部はスタッド 7.2 本分（ $=830/115$ ）に相当するため、梁継手によってスタッドを溶接できないことで損なわれるせん断耐力を補うことができる。

写真 3 に試験体 1 のスラブ破壊性状を示す。載荷後に片方のスラブは鋼梁から容易に剥がれ、もう片方のスラブは鋼梁と一体化していた。梁継手を含む鋼梁側には損傷は確認されず、スラブの破壊によって最大耐力が決定したと推測される。コンクリートは梁継手部が埋め込まれてる部分と、スプライスプレート端部から反力側の端部まで損傷していた。また、コンクリートが鋼梁に付着していたことから（写真 3b）、梁継手によるせん断力の伝達により高力ボルト



(a) スラブ側 (b) 鋼梁側  
写真 3 試験体 1 のスラブ破壊性状

周辺のコンクリートが破壊に至ったことが示唆される。

写真 4 に試験体 2 の破壊性状を示す。スラブはスタッド周辺でコンクリートが損傷していることが確認される。スタッドは、残留変形が確認されるが、破断や亀裂の発生は確認されていない。



(a) スラブ側 (b) 鋼梁側

写真 4 試験体 2 のスラブ破壊性状

### 3.3 梁継手部とスタッドの連成の影響度

図 5 と表 3 から、梁継手部を有する試験体 1 の最大耐力は 830kN、スタッドのみの試験体 2 は 230kN であり、両者を足し合わせると 1060kN になる。一方で、試験体 3 の最大耐力は 961kN であり、足し合わせによって求めた耐力の 0.91 倍である。すなわち、単純に最大耐力を足し合わせることにはできない。これは、試験体 1,3 は早期に最大耐力に達して耐力低下が始まるのに対し、試験体 2 は比較的緩やかに耐力が増大していくことで、最大耐力をとる変位に大きな差があるためである。

よって、同程度の変位で検討を行う。それぞれ試験体 1 は変位 0.8mm、試験体 2 は 4.3mm、試験体 3 は 1.3mm で最大耐力をとる。4.3mm 時は試験体 2 以外すでに負勾配になっているため、比較する変位は試験体 1 の 0.8mm とする。0.8mm のときの試験体 1,2 の耐力はそれぞれ 832, 100kN であるため、足し合わせると 932kN であり、試験体 2 の 0.8mm 時の耐力の 0.96 倍 (=932/961) である。よって、同じずれであれば、足し合わせが概ね可能であり、並列の関係にあるといえる。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会：各種合成構造設計指針
- 2) 松田頼征：コンクリートスラブー梁継手高力ボルト摩擦接合部間のシアコネクタ性能に関する基礎研究，鋼構造年次論文報告集、Vol.31，2023.11
- 3) 日本建築学会：鋼・コンクリート機械的ずれ止め構造設計指針
- 4) 平野道勝，他：床鋼板つきコンクリートスラブに埋め込まれたスタッドコネクタの押し抜き実験，日本建築学会論文報告集，281 巻，pp.57-68、1979.7
- 5) 五十嵐定義，他：合成はり架構の弾塑性応答解析法および応答性状に関する研究，日本建築学会論文報告集，第 337 号，1984.3
- 6) 米森豪、松田頼征、笠井和彦：実大建物の震動台実験におけるずれ剛性，鋼構造年次論文報告集、Vol.30，2022.11

### ( 発表論文 )

- 松田頼征，小野寺昂大：高力ボルト摩擦接合梁継手の構成部材およびスタッドの連成が合成梁のせん断伝達に及ぼす影響 その 1 実験概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，投稿中，2025
- 小野寺昂大，松田頼征：高力ボルト摩擦接合梁継手の構成部材およびスタッドの連成が合成梁のせん断伝達に及ぼす影響 その 2 実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，投稿中，2025