

(52) 制御されたせん断力と軸力を受ける頭付きスタッドのせん断耐力とせん断力-ずれ変位関係

平 陽兵¹・渡辺 忠朋²・斉藤 成彦³・溝江 慶久⁴・島 弘⁵・中島 章典⁶

¹正会員 鹿島建設(株) 技術研究所 (〒182-0036 調布市飛田給2-19-1)
E-mail: ytaira@kajima.com

²正会員 北武コンサルタント(株) (〒160-0004 札幌市豊平区月寒中央通7-4-7)
E-mail: chuho@hokubu-c.co.jp

³正会員 山梨大学准教授 (〒400-8511 甲府市武田4-3-11)
E-mail: ssaito@yamanashi.ac.jp

⁴正会員 川田工業(株) 鋼構造事業部 (〒114-8562 北区滝野川1-3-11)
E-mail: y.mizoe@kawada.co.jp

⁵フェロー会員 高知工科大学教授 工学部社会システム工学科 (〒782-8502 香美市土佐山田町宮ノ口185)
E-mail: shima.hiroshi@kochi-tech.ac.jp

⁶フェロー会員 宇都宮大学教授 大学院工学研究部 (〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail: akinorin@cc.utsunomiya-u.ac.jp

頭付きスタッドは鋼コンクリート複合構造におけるずれ止めとして広く使われている。頭付きスタッドのせん断耐力やせん断力-ずれ変位関係は、せん断力だけでなくスタッドの軸方向に作用する力にも影響を受けることが予想される。頭付きスタッドの性能把握のために実施される押抜き試験では、コンクリートブロックの支持状態によって頭付きスタッドにせん断力に加えて軸方向の力が作用するが、この大きさが明確ではないため、スタッドへの作用力を正確に把握した上で、せん断耐力やせん断力-ずれ変位関係を求めることが必要である。

本研究では、油圧ジャッキでスタッドに軸方向圧縮力を与え、これを制御しながら押抜き試験を実施し、頭付きスタッドにせん断力と軸方向の圧縮力が同時に作用した際のせん断耐力とせん断力-ずれ変位関係について検討した。

Key Words : headed stud connector, push-out test, shear capacity, shear force-slip relationships

1. はじめに

頭付きスタッド(以下、スタッド)は鋼コンクリート複合構造の鋼とコンクリートがずれないように、主としてせん断抵抗に対するずれ止めとして使われており、部材の設計を行う上ではそのせん断耐力が必要である。さらに、せん断力-ずれ変位関係を考慮することで、より合理的な設計が可能になる。

実構造物においてはスタッドにはせん断力だけでなく、軸方向の引張力、または圧縮力(以下、軸力)も同時に作用する場合が想定され、この軸力がスタッドのせん断耐力やせん断力-ずれ変位関係に影響を及ぼすことが明

らかにされている¹⁾。複合構造標準示方書²⁾(以下、示方書)には、実験に基づいた頭付きスタッドのせん断耐力、及びせん断力-ずれ変位関係を求める式が示されているが、軸力に応じた算定式とはなっていない。今後、実構造物の種々の条件下において部材の挙動を精度よく評価するため、あるいは解析的な検討を行う上で、軸力の影響を考慮したせん断耐力式やせん断力-ずれ変位関係の構築が必要である。

スタッドに軸引張力とせん断力が作用した場合については、大谷ら³⁾や外山ら⁴⁾によって耐力評価法が提案されている。軸圧縮力とせん断力が作用した場合については、笠井ら⁵⁾や中島ら⁶⁾によって実験が行われているが、一定

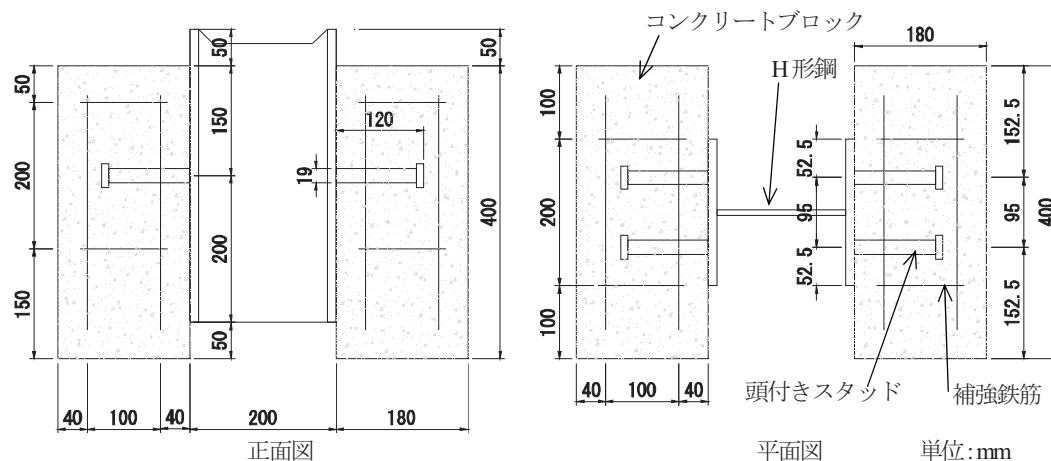


図-1 試験体形状

表-1 スタッド詳細

	軸径 mm	頭部径 mm	頭部厚 mm	全長 mm	降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	伸び %	引張強度 (溶接後) N/mm ²
規格値	19±0.4	32±0.3	9.5~11	125±0.4	235 以上	400~550	20 以上	400~550
シルート	18.8	31.9	10.1	125.1	373	496	27	524

の軸圧縮力を作用させた実験であり、せん断力に応じて軸圧縮力を変化させた実験はない。

試験方法に着目すると頭付きスタッドの性能は、一般に頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)⁷⁾(以下、標準試験)に示されるようにスタッドを溶接した H 形鋼とコンクリートブロックからなる試験体を用いた押抜き試験により得られている。この押抜き試験では不陸調整のために反力床に石膏などを敷き、その上に試験体を設置する。島ら⁸⁾は、この試験方法ではコンクリートブロック底面と反力床との摩擦によってコンクリートブロックが拘束され、H 形鋼のフランジとコンクリートの界面に軸圧縮力が作用すると報告しており、ウェブのひずみからこの軸圧縮力を求めている。このように標準試験方法では、スタッドにはせん断力だけでなく軸力が作用していると考えられることから、この軸力の値を明確にして実験を実施することが重要である。

以上より、本研究では試験体の底面を水平移動と回転が可能な支承で支持する、島ら⁸⁾が提案する押抜き試験方法を採用し、スタッドにせん断力と同時に油圧ジャッキで制御した軸圧縮力を作用させた押抜き試験を実施した。この実験により、軸圧縮力がスタッドのせん断耐力やせん断力-ずれ変位関係に与える影響を検討した。

2. 実験概要

(1) 試験体の形状

試験体は3体製作し、全て同じ形状とした。試験体の形状を図-1に示す。この形状は標準試験に準じて決定したものであり、島ら⁸⁾の研究と同じである。頭付きスタッドは軸径19mm、高さ120mmを使用し、これをH形鋼(H200×200×8×12)に合計4本溶接した。表-1にスタッドの形状と強度を示す。

コンクリートの打設の際には、H形鋼のウェブを切断して試験体を2つに分割しておき、スタッドが鉛直方向となるように設置した状態でスタッドの頭側からコンクリートを打設した。そして、コンクリート硬化後にウェブを溶接して接合した。なお、H形鋼は塗装を行わず、コンクリートとの接触面もグリース塗布などの処置は行わなかった。

(2) 試験方法

本研究における押抜き試験方法の特徴は、コンクリートブロックを水平移動と回転が可能な支承によって支持して载荷を行ったことである。図-2と写真-1に試験体設置状況を示す。

コンクリートブロック下端の支承は、丸鋼を用いたローラー支承とし、両側の支承とも回転、及び水平変位を拘束しない支持条件とした。丸鋼と試験体の間には、80×400×30mmの鋼板を設置し、試験体との間は石膏を用いて不陸調整を行った。水平方向の軸圧縮力の载荷は、500kN センターホールジャッキ、及びφ23mm 総ねじ PC 鋼棒を試験体の両側に配置し H150×150×7×10 を介して行った。この軸圧縮力は载荷荷重(せん断力)に応じ

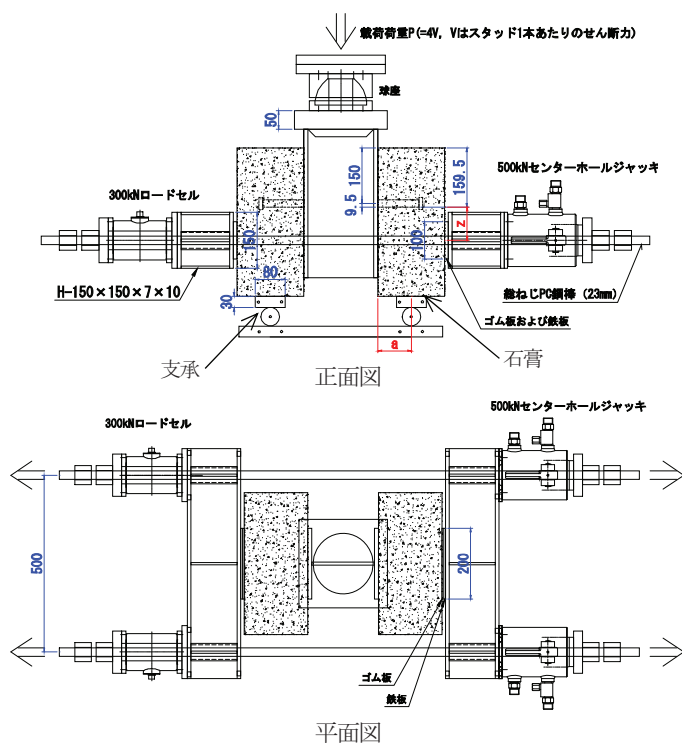


図-2 試験体設置状況

表-2 試験体一覧

No.	軸圧縮力 C (kN/本)	支承の 位置 a (mm)	水平ジャ ッキ位置 z (mm)	実験時コン クリート圧 縮強度 f_c (N/mm ²)
No.1	-V	90	90	24.5
No.2	-180	40	0	28.2
No.3	-0.5V	40	80	29.2

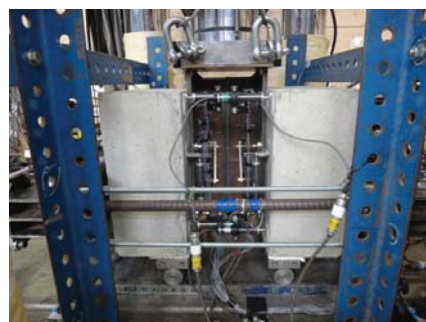
*V: 作用せん断力

て所定の値となるようにコンピューターで制御した。

(3) 試験要因

試験要因は、スタッドに作用させるせん断力と軸圧縮力の関係とした。表-2に試験体一覧を示す。また、図-3に各試験体で作用させたせん断力 (V) と軸圧縮力 (C) の関係を示す。ここで示すせん断力と軸圧縮力はスタッド1本当たりの値であり、せん断力は載荷荷重の1/4、軸圧縮力はPC鋼棒1本当たりの緊張力である。

No.1は、せん断力と軸圧縮力を比例させて載荷したものであり、せん断力と同じ値の軸圧縮力で $V/C=1$ とした。No.2は所定の軸圧縮力を先に導入し、これを一定に保った状態でせん断力を作用させた。No.2では先に軸圧縮力を与えるため、あらかじめその大きさを決定する必要がある。本研究ではNo.1の実験から得られた最大せん断力時の軸圧縮力に近い値として $C=180\text{kN}$ とした。No.3は、No.1と同様にせん断力と軸圧縮力を比例させて載荷した



正面



側面

写真-1 試験体設置状況

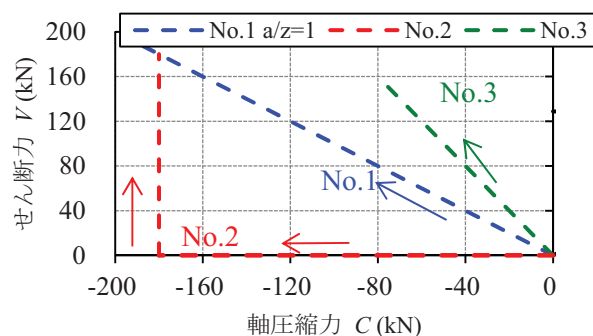


図-3 せん断力-圧縮力関係

もので、軸圧縮力をNo.1の1/2とした。以上から、No.1とNo.2は加力経路、No.1とNo.3は V/C が異なることとなる。

スタッドに作用するせん断力と軸圧縮力の割合は、支承の位置 (a) と軸力を導入する水平ジャッキの位置 (z) で調整した。ここで、zはコンクリートブロックとH形鋼の間で軸圧縮力を伝達する位置と水平ジャッキの距離であり、軸圧縮力を伝達する位置は文献1)からスタッドの下端とした。コンクリートブロックに作用する力を図-4のように考え、式(1)に示すコンクリートブロックの力の釣り合い式からaとzを決定することで、コンクリートブロックが回転することなく載荷できるようにした。

$$C = \frac{a}{z} V \quad (1)$$

No.2とNo.3の支承までの距離 $a=40\text{mm}$ は、載荷点と支持点の偏心距離を小さくし、コンクリートブロックにせん断力による曲げモーメントが作用しないようにするこ

とを目的に、実験が可能な範囲でできるだけ小さくした値である。

(4) 加力方法と計測

加力は一方向の漸増繰り返し载荷とし、途中残留変位を確認するために、除荷を行った。

計測は、载荷荷重（せん断力）とPC鋼棒の緊張力のほか、H形鋼とコンクリートブロック間の相対変位として各スタッドの位置4か所で鉛直方向変位（ずれ変位）と、コンクリートブロックの上下、計8か所で水平方向変位（開き）を計測した。今後、図ではそれぞれ平均値をずれ変位、及び開きとして示す。そのほか、スタッドのひずみとフランジの鉛直ひずみを計測した。

3. 実験結果

(1) せん断力-ずれ変位の関係と破壊形態

各試験体のせん断力-ずれ変位関係を図-5 に、ずれ変位を拡大した図を図-6 に示す。図中の×印は、せん断力が最大（せん断耐力）の位置である。図中の計算値は、示方書に示されるせん断力とずれ変位の関係であり、ここでは No.3 の結果を示す。また、写真-2 に実験後の試験体の状況を示す。

せん断力-ずれ変位関係は、ずれ変位が 1mm 以下の範囲において試験体による差異が見られた。No.1 はせん断力が 72kN の時にずれ変位が 0.1mm となった。同様に No.2 では 129kN、No.3 では 34kN で 0.1mm となっており、初期の段階でのずれ変位の発生状況が大きく異なった。No.1 と No.2 は、ずれ変位が 2mm 以降では同様の挙動をし、せん断力が最大となった後もさらに 2mm 程度ずれ変位が進むまでせん断力を維持し、ずれ変位が 8~9mm でせん断力が明らかに低下したので、ここで実験を終了した。コンクリートブロックの側面にはスタッドとほぼ同じ位置に横方向のひび割れが生じていた。

No.3 は初期の段階からずれ変位が生じ始めており、せん断力が最大になった後、1mm 程度ずれ変位が増加した後に、片側のコンクリートブロック内の 2 本のスタッドがほぼ同時に破断した。実験終了後、コンクリートブロックには、No.1 と No.2 で見られたひび割れは観察されなかった。

No.1 と No.2 はせん断力の最大値が確認された時点で実験を終了したが、No.3 と同様にずれ変位が 8.5~9mm 程度でせん断力が低下していることから、スタッドが破断する直前であったと思われる。

No.2 について詳細を見ると、前述の通りずれ変位が

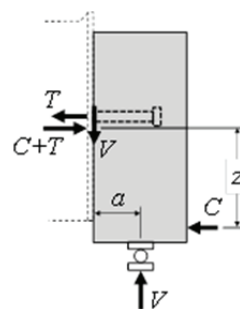


図-4 コンクリートブロックに作用する力

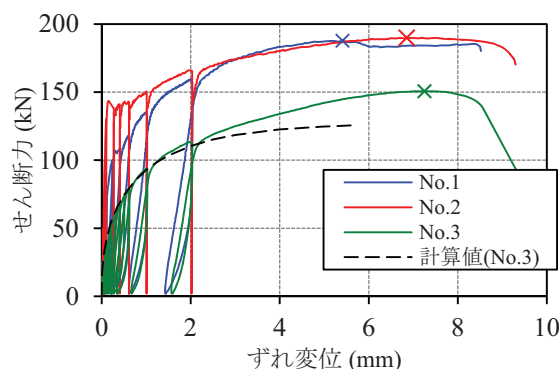


図-5 せん断力-ずれ変位関係

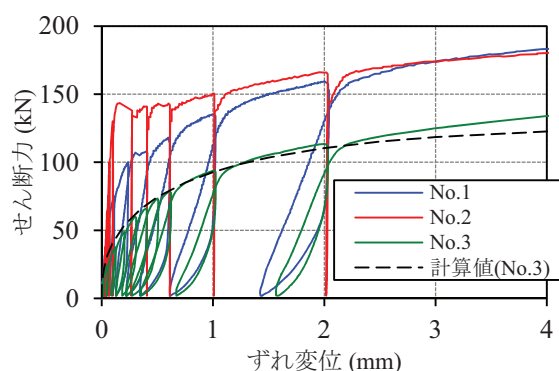


図-6 せん断力-ずれ変位関係 (拡大)

0.1mm に達する時のせん断力が大きく、せん断力が 143kN に達した時に若干のせん断力の低下とともにずれ変位が 0.16mm から 0.27mm と滑る挙動が見られた。また、一旦滑った後、除荷を行い、再载荷した際にはほとんどずれ変位が増加せず、除荷前のせん断力まで上昇した。せん断力に対する抵抗として、付着力、摩擦力、及び機械的な抵抗が考えられるが、最初に滑りが見られたところで付着が切れたのだとすると、再载荷の際には付着抵抗がなくなっているため、せん断力の増加とともにずれが生じると考えられる。さらに、後述するように最初に滑りが生じたところではスタッドひずみが急増していた。以上から、No.2 の初期のずれ変位が小さいのはフランジとコンクリート面の摩擦抵抗によるものだと考えられる。

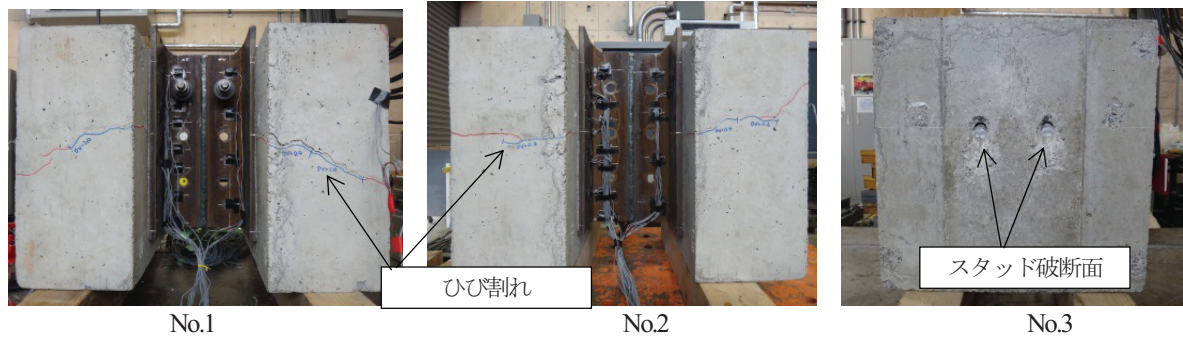


写真-2 実験後の試験体状況

表-3 せん断耐力

No.	実験値			せん断耐力計算値①		実験値 /計算値①	計算値②	実験値 /計算値②
	せん断耐力 (kN)	圧縮力 (kN)	最大せん断力時の ずれ変位 (mm)	式 (3) (kN)	式 (4) (kN)			
No.1	187.8	187.1	5.41	120.0	145.0	1.57	182.0	1.03
No.2	190.0	179.8	6.85	125.2	145.0	1.52	184.8	1.03
No.3	150.7	75.3	7.25	127.2	145.0	1.18	152.2	0.99

除荷時の曲線を見ると、No.1 と No.3 でせん断力が小さくなるとずれ変位が減少しているのに対し、常に同じ軸圧縮力を作用させた No.2 では除荷前のずれ変位と除荷後の残留ずれ変位がほとんど変わらなかった。

計算値との比較では、No.1 と No.2 は摩擦力による抵抗が加わったため、同じずれ変位に対してせん断力が大きくなったものと思われる。一方、No.3 は同じく軸圧縮力が作用しているもののずれ変位が 2mm まで計算値と非常によく一致した。示方書のせん断力-ずれ変位関係モデルは標準試験によって得られた実験結果⁸⁾から構築されたものであるが、この時の実験において No.3 と同程度の軸圧縮力が作用していた可能性を示唆していると考えられる。

(2) せん断耐力

表-3 に各試験体におけるせん断耐力の実験値と計算値を示す。また、表に示す軸圧縮力は実験で得られたせん断耐力時の値である。

せん断耐力の計算値は示方書に示される次式により算出した。

$$V_{ssu} = \min(V_{ssu1}, V_{ssu2}) \quad (2)$$

$$V_{ssu1} = 31A_{ss}\sqrt{\frac{h_{ss}}{d_{ss}}f'_c} + 100 \quad (3)$$

$$V_{ssu2} = A_{ss}f_{su} \quad (4)$$

ここで、 V_{ssu} は頭付きスタッドのせん断耐力、 A_{ss} はスタッド軸部の断面積、 h_{ss} はスタッドの高さ、 d_{ss} はスタッド

の軸径、 f'_c はコンクリートの圧縮強度、 f_{su} はスタッドの引張強度である。

式(3)はスタッドの形状とコンクリート強度の関数となっており、コンクリートの破壊によって決まる耐力である。一方、式(4)はスタッドの軸部断面積と引張強度の関数であり、スタッドの破断による耐力である。今回の実験では全ての試験体でせん断耐力は式(3)による値で決定している。

実験においては、前述の通り全ての試験体においてスタッドの破断の前にせん断力が最大となっており、計算で想定される破壊形態であった。

せん断耐力について実験値と計算値を比較すると、その比は、No.1 が 1.57、No.2 が 1.52、No.3 が 1.18 であり、いずれも計算値よりも大きく、軸圧縮力が大きい方がせん断耐力も大きくなった。前節の結果から、せん断耐力の上昇は摩擦力の影響と考えられたことから、軸圧縮力が異なる No.1 と No.3 から摩擦係数を推定した。つまり、No.1 と No.3 の耐力差は摩擦力によるものだと考え、その値とせん断耐力時の軸圧縮力の差から摩擦係数を推定した。その結果、摩擦係数 0.33 を得た。さらに、摩擦係数を 0.33 として、せん断耐力時の軸圧縮力から求めた摩擦力と式(2)による計算耐力を足し合わせた結果を計算値②として表-3 に示す。実験値と計算値②を比べた結果、いずれも 0.99~1.03 となり、軸圧縮力が作用した際のせん断耐力は示方書によるスタッドのせん断耐力計算値と摩擦力の和で評価できる可能性が示された。しかしながら、式(2)は国内外の実験結果を回帰して求めたものであり、必ずしも軸圧縮力が作用していない場合

の耐力式ではないのでさらなる詳細な検討が必要である。

(3) 残留ずれ

ずれ止めで一体化した部材に対する使用限界状態の検討の一つとして、ずれ止めに顕著な残留変位が生じないことを照査することが重要である。そこで、実験で得られた除荷前のずれ変位と除荷後の残留ずれ変位の関係を図-7に示す。図中には示方書に示される式(5)により計算した結果を合わせて示す。

$$\delta_{ssr} = \delta_{ss} - 0.04d_{ss}(1 - e^{-24\delta_{ss}/d_{ss}}) \quad (5)$$

ここで、 δ_{ssr} は残留ずれ変位(mm)、 δ_{ss} は除荷前のずれ変位(mm)である。

No.1とNo.3はほぼ同じ結果であったが、No.2の残留ずれ変位はNo.1とNo.3よりも大きくなった。No.2は常に一定の軸圧縮力が作用していることから、摩擦力により除荷時にずれ変位が戻らず、ずれ変位の大きさに関わらず除荷前のずれ変位と残留ずれ変位がほぼ1:1の関係になったと考えられる。

計算値との比較では、No.2は前述の理由から残留ずれ変位が計算値よりも大きく、No.1とNo.3は計算値と同程度であった。

以上より、作用せん断力に対して大きい軸圧縮力が常に作用している場合には、フランジとコンクリートとの摩擦力によって、せん断力作用時にはずれ変位は小さいが、一度生じたずれ変位は戻らずに残留することが明らかとなった。

(4) 開き

試験体左右のコンクリートブロック間の開きとフランジとコンクリートブロックの間の開きを図-8、及び図-9に示す。縦軸はせん断力をせん断耐力で正規化し、曲線は最大せん断力に達するまでを示した。コンクリートブロックはNo.1で最大でも-0.4mm程度とわずかながらあるが、ブロック間の距離がせん断力の増加とともに狭まる傾向を示した。No.2は軸圧縮力を導入した際にブロック間が狭まり、その後若干開く傾向であった。No.3はせん断力による変化はなかった。このように、回転可能な支承を用いたがコンクリートブロックはほとんど回転しておらず、当初の予定通りコンクリートブロックに曲げモーメントを作用させずに載荷ができたと言える。

フランジとの開きは、No.1の下部でほとんど変化がなかったが、そのほかはブロックの上下とも、最大で0.8mmと小さい値ではあったがせん断力の増加にともない開いていく傾向があった。特にNo.2では軸圧縮力導入の際にも開きが生じた。これは次節で述べるようにスタ

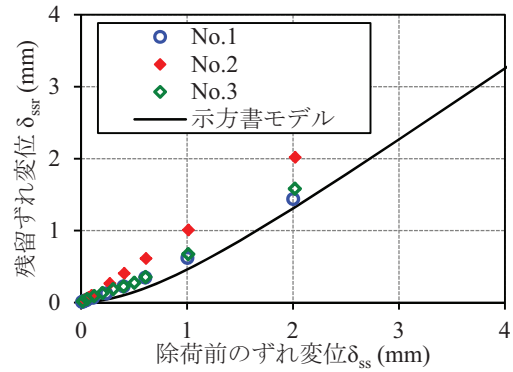


図-7 除荷前のずれ変位と残留ずれ変位の関係

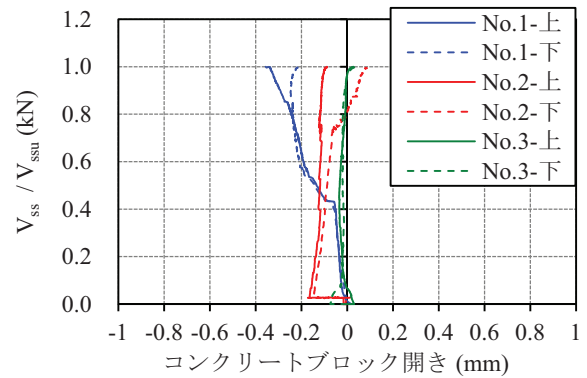


図-8 せん断力とコンクリートブロック開きの関係

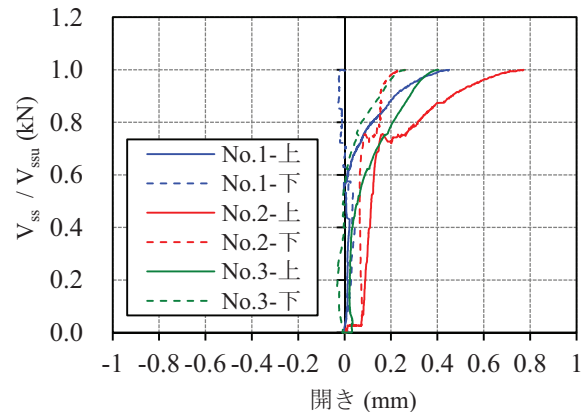


図-9 せん断力とフランジの開きの関係

ッドに圧縮ひずみが生じていること、開きの計測位置がフランジの外側であることから、スタッドに作用する軸圧縮力により、フランジが面外に曲げ変形したためだと考えられる。

(5) スタッドひずみ

スタッドの頭部から30mmの位置におけるスタッドのひずみとせん断力の関係を図-10に示す。ひずみは4本のスタッドの平均値であり、せん断耐力時までを示した。

No.2の軸圧縮力導入時のスタッドひずみは、 -170μ (圧縮応力度で 34N/mm^2)であった。コンクリートブロック

の内、フランジとの接触部分（350mm×200mm）とスタッド2本が一体となって軸圧縮力を受け持つとした場合、軸圧縮力導入時のスタッドひずみの計算値は-181 μ であり、実験値と同程度であった。ひずみはせん断力の载荷によって増加し、No.1では約100kN、No.2では約140kNの時に勾配が変化してひずみだけが增加している。これはずれ変位に滑りの現象が見られた時と同じせん断力である。最終的にNo.3はスタッドが破断し、No.1とNo.2は破断直前だったと思われるが、スタッド頭部近くのせん断耐力時のひずみは、引張ひずみで360～480 μ と降伏ひずみ（1865 μ ）に対して小さく、スタッド全体が引張力を受けたのではなくスタッドの根元がせん断、あるいは曲げ降伏し、破断に至ったと思われる。

(6) フランジ鉛直ひずみ

図-11にスタッド位置から上下に40mm離れた位置のフランジの鉛直ひずみとせん断力との関係を示す。黒破線は計算値であり、载荷荷重がフランジ幅全体に平均して作用したと考えた場合の値である。

スタッドだけがせん断力を負担した場合、スタッド直上のひずみは幅方向に平均的でなく、局所的に大きくなると考えられる。しかしながら、载荷初期のひずみは計算値よりも小さく、スタッド直下の圧縮ひずみは非常に小さい。これは、スタッドよりも上部でスタッド以外にせん断力を負担していることを示唆しているものであり、摩擦力によるものだと考えられる。また、せん断力の増加とともに圧縮ひずみが大きくなり、最終的に計算値よりも圧縮ひずみが大きくなった。これは、摩擦抵抗の範囲がフランジとコンクリート接触部全体からスタッド周辺に移行し、スタッドあるいはスタッドの周囲でせん断力を負担するようになったためだと考えられる。

4. 軸圧縮力の影響について

前章で述べたように、軸圧縮力を作用させたことにより、せん断抵抗に対する摩擦力の影響が考えられた。そこで、図-6 に対して、摩擦係数を 0.33 と仮定し、その時に作用している軸圧縮力から算出した摩擦力を差し引いたせん断力とずれ変位の関係を図-12 に示す。なお、計算値は摩擦力の影響は考慮していない。

(1) 载荷経路の違いによる影響

载荷経路の異なる No.1 と No.2 では、せん断耐力については一致し、せん断力と軸圧縮力の大きさの組み合わせが同じであれば耐力は等しいこと、また、軸圧縮力に

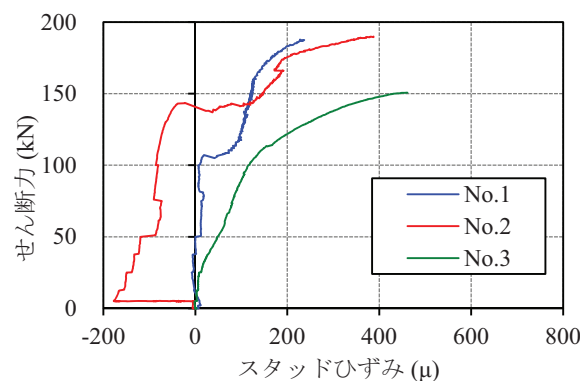


図-10 せん断力-スタッドひずみ関係

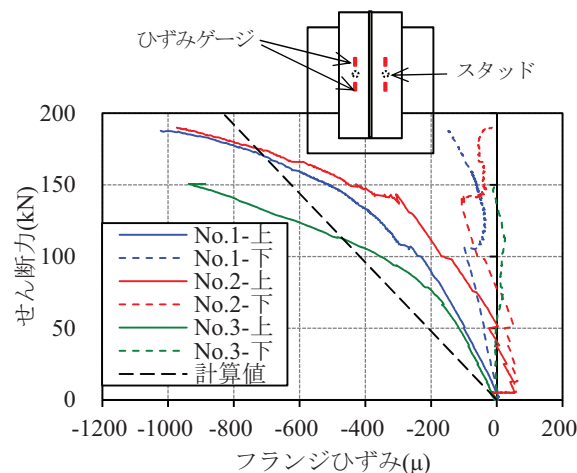


図-11 せん断力-フランジ鉛直ひずみ関係

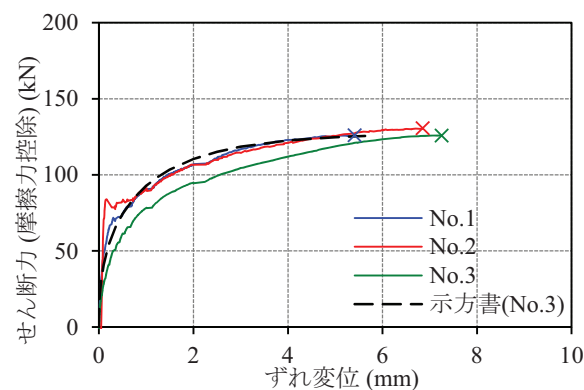


図-12 せん断力-ずれ変位関係

よる摩擦力を足し合わせることでせん断耐力を評価できると考えられた。ただし、せん断力とずれ変位の関係では、摩擦力を控除したせん断力を用いてもずれ変位が 0.5mm 以下の範囲で違いがあった。これは、载荷初期の段階から摩擦抵抗だけではなくスタッドも抵抗し、破壊に至る過程でせん断力に対する軸圧縮力の割合により、摩擦力による抵抗とスタッドによる抵抗の割合が異なるためだと考えられる。

(2) 軸圧縮力の違いによる影響

軸圧縮力の異なる No.1 と No.3 では、せん断耐力の差は摩擦力によるものと考えられ、スタッドの計算耐力と摩擦力の和で実験値とほぼ等しい結果が得られた。せん断力とずれ変位の関係では、載荷経路の違いと同様に摩擦力を控除したせん断力を用いてもずれ変位は異なり、軸圧縮力が高い No.2 の方が同じせん断力に対するずれ変位は小さくなった。前節と同様にせん断力に対する軸圧縮力の割合が異なることでスタッドの抵抗機構の違いが出ていると考えられるが、摩擦力だけでは説明できない要因がある可能性も考えられ、さらなる検討が必要である。

5. まとめ

頭付きスタッドを対象に、スタッドの軸方向に軸圧縮力を作用させ、軸圧縮力を変化させた 3 体の押抜き試験を行った。本実験の範囲で得られた結果を以下に示す。

- (1) コンクリートブロックを支持する支承を回転と水平移動が可能なものとし、コンクリートブロックの釣り合いを考慮して軸圧縮力を作用させることにより、コンクリートブロックを回転させずに押抜き試験を行うことが可能となった。
- (2) せん断耐力は、スタッド部に作用する軸圧縮力の大きさに比例して増加する。なお、複合構造標準示方書による頭付きスタッドのせん断耐力と摩擦力の和とすることで実験結果を評価できた。
- (3) せん断耐力時の軸圧縮力の大きさが同じであれば、せん断力と軸圧縮力を比例載荷した場合と、軸圧縮力を一定載荷した場合でせん断耐力は同じであった。
- (4) せん断力とずれ変位の関係は、ずれ変位が 1mm 以下と小さい領域で軸圧縮力の大きさの影響を受け、せん断力が除荷された際にも軸圧縮力が作用してい

る場合には、ずれ変位は戻らず、残留ずれ変位は大きくなった。

- (5) 軸圧縮力の存在により、特にずれ変位が小さい範囲でせん断力-ずれ変位関係が異なり、軸圧縮力が高いほど同じせん断力に対して生じるずれ変位が小さくなった。また、その曲線は複合構造標準示方書とも異なる結果であった。

謝辞：本研究は、土木学会複合構造委員会の複合構造ずれ止めの性能評価法に関する調査研究小委員会の委員によって計画され、試験体製作、及び載荷実験を行ったものである。ここに関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 島弘：頭付きスタッドのせん断力とずれ変位およびスタッド軸方向挙動との関係に及ぼす試験方法の影響，土木学会論文集中 A1, Vol.67, No.2, pp.307-319, 2011
- 2) 土木学会：複合構造標準示方書（2009 年制定），2009
- 3) 大谷恭弘，木下淳，辻文三：組合せ荷重を受けるスタッドアンカーの設計強度評価法，鋼構造年次論文集，Vol.2, pp.699-706, 1994.11
- 4) 外山征，木下英吉：スタッドを有する鋼コンクリート界面における引張応力依存型の付着性状に関する研究，コンクリート工学論文集，第 15 巻第 1 号，pp.1-12, 2004.1
- 5) 笠井裕次，河村哲男，木下英吉：スタッド付き鋼・コンクリート界面の付着性状に及ぼす側圧効果の影響に関する研究，コンクリート工学論文集，第 13 巻第 2 号，pp.1-13, 2002.5
- 6) 中島章典，猪股勇希，齋川幾美，大江浩一：付着，機械的作用を有する鋼・コンクリート接触面の静的・疲労正常に関する実験的検討，土木学会論文集中 A, Vol.63, No.4, pp.758-767, 2007
- 7) 日本鋼構造協会：頭付スタッドの押抜き試験方法（案），JSSC テクニカルレポート，No.35, pp.1-24, 1996.11
- 8) 島弘，渡部誠二：頭付きスタッドのせん断力-ずれ関係の定式化，土木学会論文集中 A, Vol.64, No.4, pp.935-947, 2008.11
- 9) 島弘，中島章典，渡辺忠朋：土木分野におけるずれ止めの性能評価法-土木学会複合構造委員会研究小委員会，第 9 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，pp.29-37, 2011

SHEAR CAPACITY AND SHEAR FORCE - SLIP RELATIONSHIP OF HEADED STUD CONNECTORS UNDER CONTROLLED SHEAR AND AXIAL FORCES

Yohei TAIRA, Tadatomo WATANABE, Shigehiko SAITO, Yoshihisa MIZOE,
Hiroshi SHIMA and Akinori NAKAJIMA

Headed studs are widely used as shear connectors for various steel-concrete composite structures. In the design of such structures, it is necessary to determine not only the shear capacity but also the shear force-slip relationship of headed studs, both of which are dependent on the loading applied. In standard push-out tests, the actions of axial force and shear force depend on the support condition of concrete blocks of the push-out test specimen. In this study, push-out tests of headed studs were conducted with axial compressive force controlled by using hydraulic jacks, and shear capacity and shear force-slip relationships of such studs under both shear force and axial compressive force were investigated.