

(25) 頭付きスタッドの押抜き試験における境界条件に関する検討

高橋 良輔¹・斉藤 成彦²

¹正会員 山梨大学大学院准教授 医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田3丁目3-1)
E-mail:rtakahashi@yamanashi.ac.jp

²正会員 山梨大学大学院准教授 医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田3丁目3-1)
E-mail:ssaito@yamanashi.ac.jp

頭付きスタッドのせん断力-ずれ関係を得る方法として、頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)が提案されている。この試験方法ではコンクリートブロック下面を床面で支持する方法を用いており、支持位置における力の作用位置、大きさ、拘束など境界条件が不明確である。

そこで本研究では、境界条件が明快なローラー支持を用いて頭付きスタッドの押抜き試験を行い、その破壊挙動を検討したほか、開き止めによる拘束の影響についても検討を行った。その結果、ローラー支持ではコンクリートブロックのひび割れによる破壊で耐力算定値よりも大幅に小さいせん断力で破壊すること、ローラー支持と開き止めを併用すると拘束効果により床支持よりも耐力が増加することが明らかになった。さらに、ローラー支持で水平方向拘束が有・無の境界条件下における破壊挙動について知見を得た。

Key Words : Headed stud, Push-out test, Crack, Boundary condition, Support, Restraint

1. はじめに

鋼・コンクリート合成構造において、鋼とコンクリートを結合するために用いられるずれ止めは、その破壊挙動を左右する要因の一つである。そのため、性能照査においてずれ止めの正確な挙動を応答解析に用いることが重要である。このことから、複合構造標準示方書¹⁾では、各種ずれ止めのせん断力-ずれ関係が示されている。

頭付きスタッド(以下、スタッド)は、広く普及しているずれ止めの一つであり、そのせん断力-ずれ関係を得るための標準試験方法として、頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)²⁾(以下、標準試験方法)が(社)日本鋼構造協会より提案されている。標準試験方法では、両フランジに2本ずつスタッドを溶着したH形鋼とコンクリートブロックからなる試験体が用いられる。その支持方法は、図-1(a)に示すように、コンクリートブロックの全底面を、試験機のベッドに密着させる方法(以下、床支持)である。不陸を除くため、コンクリートブロック底面と試験機ベッド間には石膏等が敷かれる。従って、本試験では水平方向に摩擦による拘束が生じる。島³⁾は、大谷⁴⁾ら、笠井⁵⁾がスタッドに作用する引張力、ならびにコンクリートブロックに作用する側圧がスタッドのせん断耐力に影響を及ぼすことを指摘していることから、

標準試験方法においてコンクリートブロックの拘束がスタッド挙動に与える影響を調べた(図-1)。その結果、開き止めや摩擦による水平方向の拘束がせん断耐力と終局時ずれを増加させること、また、コンクリートブロックとH形鋼の力の作用位置やコンクリートブロックの変位に影響を与えること、等が示された。

その検討では、水平方向を非拘束とした境界条件では、コンクリートブロックが回転することが示されている。標準試験方法における床支持では、コンクリートブロックの回転は支持面によって少なからず拘束されると考えられる。標準試験においては、この拘束力が明確であることが重要と考えられるが、床支持では支持部における力の作用位置と大きさは明確ではない。

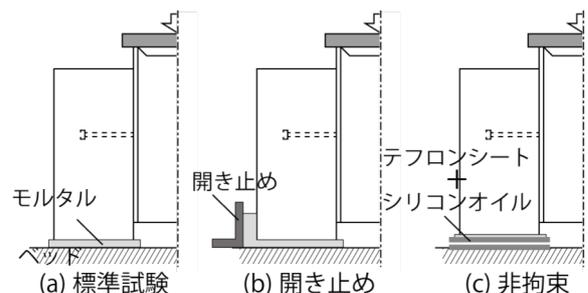


図-1 島の検討した境界条件³⁾

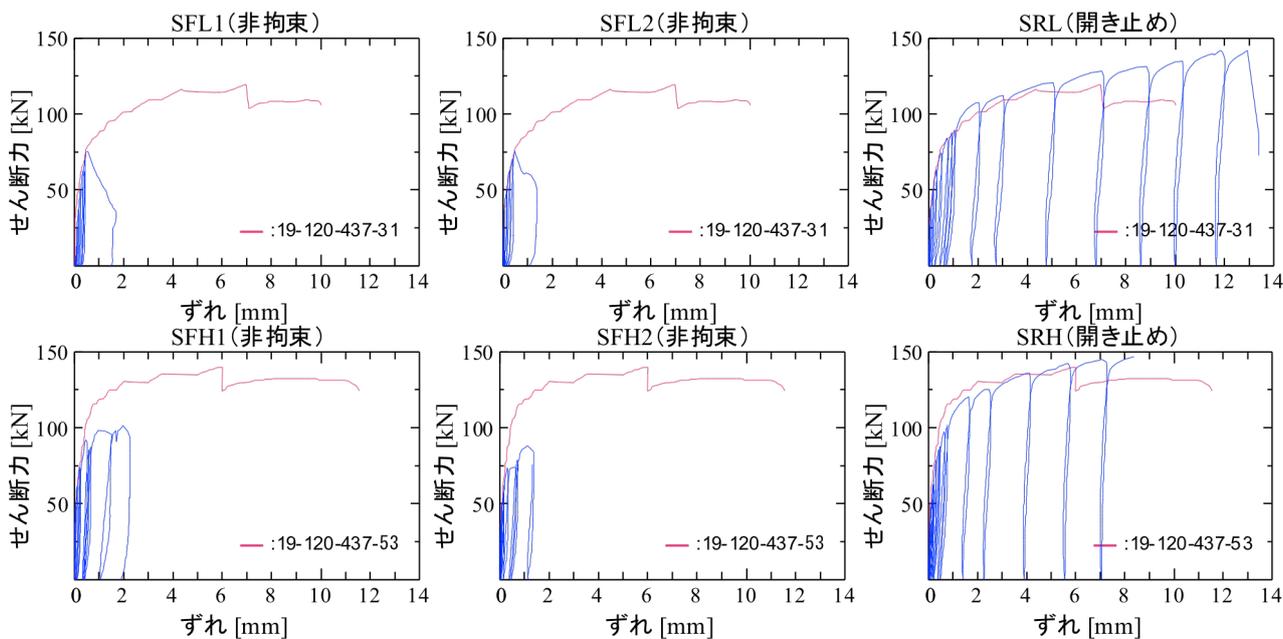


図-5 せん断力-ずれ関係

開き止めは、図-2 に示すように、左右コンクリートブロックに密着した70mm×50mm×15mmの鋼板とφ20 mmの丸鋼を結合したものである。丸鋼にはSS400を用いた。丸鋼は両端をねじ切りし、ダブルナットで鋼板に固定した。設置位置のコンクリート面を紙ヤスリで平滑にした後、鋼板を接着剤により仮止めし、初期拘束を与えないように手締めで固定した。この方法により、水平方向拘束の作用位置と大きさが把握可能となる。島の実験³⁾でも、床支持で開き止めが用いられている(図-1(b))。この場合、拘束力はコンクリートブロック下端に作用し、開き止め自体の移動もほとんど無い。本実験ではこの開き止めと異なり、拘束力はH形鋼の下端に近い位置で作用し、丸鋼の伸びとたわみにより、水平方向変位ならびに開き止めとコンクリートの接触面の回転が許容される。

島・渡部の実験⁷⁾では、図-1(a)の支持方法が用いられている。食品保存用ラップを広げた試験機ベッド上にセメントペーストを敷き、不陸を除いている。水平方向変位が摩擦により拘束され、コンクリート底面の回転が床面により拘束される境界条件であり、本境界条件を「床支持」と記述する。

(2) 実験方法

荷重は図-3 に示した方法により、容量1000kNの万能試験装置を用いて加力を行った。荷重履歴も島・渡部³⁾の実験に準じた。正方向の繰り返し荷重で、荷重が50kN, 100kN, 150kN, 200kN, 250kN, ずれ変位が0.3mm, 0.5mm, 0.75mm, 1.0mm, 1.4mm, 2.0mm, 3.0mm, 5.0mm, 7.0mm, 11.0mm, 13.0mmで徐荷を行った。

実験では、スタッドとコンクリートのずれ、左右コンクリートブロックの上下端における水平変位、H形鋼フ

レンジとコンクリートの開き、スタッド軸ひずみ、ウェブのひずみ分布、開き止め(丸鋼)ひずみを計測した。計測方法および計測位置を図-4 に示す。

3. 実験結果および考察

(1) せん断力-ずれ関係および破壊性状

実験により得られたせん断力-ずれ関係を図-5に示す。各供試体のせん断力-ずれ関係には、同一コンクリート強度の床支持供試体³⁾の包絡線を示した。床支持供試体は、コンクリートの破壊で終局を迎えている。なお、ここでのせん断力は、荷重を全スタッド本数で除した、スタッド1本あたりの平均せん断力である。今後、スタッドに作用するせん断力には、この平均せん断力を用いる。

境界条件に関わらず載荷初期(0~75kN付近)のせん断力-ずれ関係は、床支持の結果に一致する。床支持の場合は、その後、徐々に剛性が低下し、やがてせん断力がほとんど増加しなくなる。非拘束のSFシリーズは、この領域に至る前にせん断力が減少し、破壊した。いずれも図-6 に示すような急激なひび割れの発生に伴う脆性的な破壊であった。非拘束でコンクリート強度が高いSFH1, SFH2は、最大せん断力前に接線剛性が大きく低下し、せん断力-ずれ関係は床支持の包絡線から離れた。その後、再びせん断力が増加して最大せん断力に至った。

開き止め供試体のSRL, SRHは、非拘束供試体とは異なり、床支持と同様に、荷重につれ徐々に剛性が低下した。しかし、せん断力がほとんど増加しなくなる床支持とは違い、最大せん断力に至るまでせん断力が増加し最終的にスタッド破断により破壊に至った。

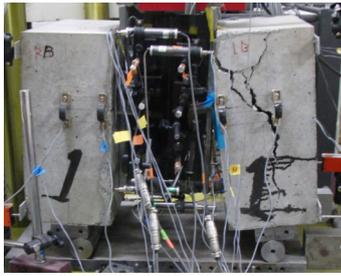


図-6 破壊時の状況

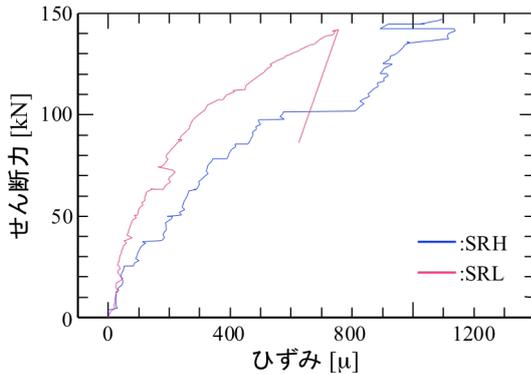


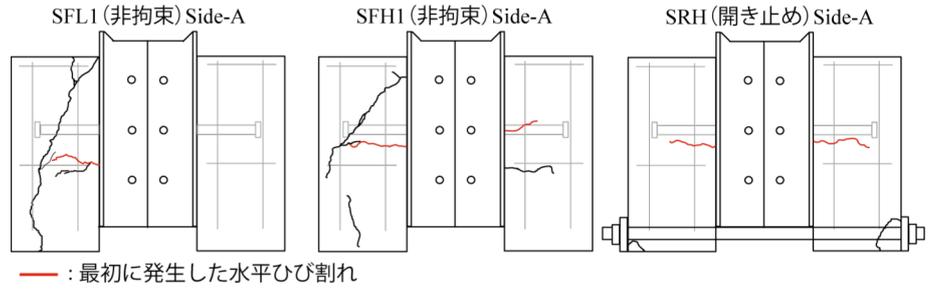
図-7 開き止め (丸鋼) ひずみ

開き止めの丸鋼のひずみを図-7に示す。丸鋼ひずみは、供試体中央の丸鋼に貼った2枚のひずみゲージによる軸ひずみである。図-7にはA, B側面の平均値を示した。鋼板と丸鋼の結合部では、コンクリート面の回転により局所変形が生じた。ひずみ値はこの影響を含むと考えられるため、ひずみの絶対値に関しては断定的に論じることができないが、増減の傾向は実現象を示していると言える。丸鋼ひずみはせん断力の増加とともに増加していることから、せん断力の増加とともにコンクリートブロックへの水平方向拘束力が増加していることがわかる。よって、床支持とは異なり、剛性低下後も大きくせん断力が増加するのは、せん断力の増加に応じて開き止めによる水平拘束力が増加したためと考えられる。

図-8に本実験で観察されたひび割れを示す。全ての供試体で、図中の赤線で示されるスタッド軸方向と平行な水平ひび割れが、スタッドよりやや下の位置に発生した。表-3に水平ひび割れ発生せん断力を示す。ひび割れは、载荷においてかなり早い時期に発生しており、せん断力-ずれ関係でもその影響はほとんど見られない。

非拘束供試体では、その後、コンクリートブロック上縁付近のフランジ側からブロックの下方外側へ至る斜めひび割れが急激に発生し、同時にせん断力が減少した。開き止め供試体ではこの斜めひび割れは発生しなかった。

ひび割れ状況から、この水平ひび割れはコンクリートブロックに曲げが作用して発生したと推測される。このような水平ひび割れは、床支持を境界条件とする押抜き試験において報告例がない。従って、この水平ひび割れ



— : 最初に発生した水平ひび割れ

図-8 ひび割れ性状

表-3 水平ひび割れ発生せん断力

供試体	SFL1	SFL2	SFH1	SFH2	SRL	SRH
せん断力[kN]	40.0	40.0	50.0	61.0	75.0	50.0

はローラー支持による境界条件下で発生すると考えられる。斜めひび割れは、コンクリートブロックにせん断力が作用したことを示唆している。開き止め供試体では斜めひび割れが発生しなかったため、水平方向の拘束が斜めひび割れの発生機構に関係することは明らかである。

(2) せん断耐力

各供試体のせん断耐力 $V_{su,exp}$ を表-4に示す。表-4には、次に示す複合構造標準示方書¹⁾の算定式による、せん断耐力算定値 V_{su} を示した。本算定式は床支持による押抜き試験結果を基に構築されたものである。コンクリートとスタッドの相互関係から定まるスタッドのせん断耐力 $V_{su,c}$ と、スタッド強度から定まるせん断耐力 $V_{su,s}$ のうち、小さい方の値により V_{su} が定まる。本実験のせん断耐力算定値はいずれも、スタッド強度により定まった。

$$V_{su,c} = 31A_{ss}\sqrt{f'_c h_{ss}/d_{ss}} + 10000 \text{ [N]} \quad (1)$$

$$V_{su,s} = A_{ss}f_{su} \text{ [N]} \quad (2)$$

ここに、 $V_{su,c}$:コンクリートとスタッドの相互関係により定まる頭付きスタッドのせん断耐力、 $V_{su,s}$:スタッド強度により定まるせん断耐力、 A_{ss} :スタッド断面積 $[\text{mm}^2]$ 、 h_{ss} :スタッド高さ $[\text{mm}]$ 、 d_{ss} :スタッド軸径 $[\text{mm}]$ 、 f_{su} :スタッド引張強度 $[\text{N}/\text{mm}^2]$ 、 f'_c :コンクリート1軸圧縮強度 $[\text{N}/\text{mm}^2]$ 。

非拘束のSFシリーズのせん断耐力は、計算値の0.6~0.8倍程度と小さくなる。コンクリートブロックの斜めひび割れによる破壊が、算定式が対象とするコンクリートの破壊機構と異なることが、この原因であるのは明らかである。一方、開き止めを用いたSRシリーズのせん断耐力は、計算値の1.13~1.17倍程度大きくなった。破壊モードは、耐力算定値も実験結果もスタッド破断で一致した。一方、スタッドが破断しない床支持の実験結果と比較しても、せん断耐力は、低強度で床支持の1.2倍、

表4 実験結果

供試体	境界条件	f'_c [N/mm ²]	せん断耐力算定値				実験結果				
			V_{SLC} [kN]	V_{SLS} [kN]	V_{SI} [kN]	破壊形態	V_{SLexp} [kN]	V_{SLexp}/V_{SI}	$V_{SLexp}/V_{SL\#31}$	δ_{SLexp} [mm]	破壊形態
SFL1	非拘束	29.4	129.0	126.5	126.5	スタッド破断	75.3	0.6	1.00	0.54	コンクリート
SFL2	非拘束	28.6	131.5	126.5	126.5	スタッド破断	75.6	0.6	1.00	0.49	コンクリート
SFH1	非拘束	53.8	175.4	126.2	126.2	スタッド破断	101.4	0.8	1.34	1.98	コンクリート
SFH2	非拘束	53.6	175.1	126.2	126.2	スタッド破断	88.0	0.7	1.17	1.11	コンクリート
SRL	開き止め	27.8	128.9	126.2	126.2	スタッド破断	142.0	1.13	1.00	12.92	スタッド破断
SRH	開き止め	54.9	177.0	126.2	126.2	スタッド破断	147.3	1.17	1.04	8.47	スタッド破断
19-120-437-31	床支持	31.4	133.8	123.9	123.9	スタッド破断	118.5	0.96	1.00	10.00	コンクリート
19-120-437-53	床支持	52.5	170.0	123.9	123.9	スタッド破断	139.8	1.13	1.18	11.55	コンクリート

V_{SLexp} : 最大せん断力の実験値, $V_{SL\#31}$: 各シリーズ $f'_c=31\text{N/mm}^2$ の供試体の最大せん断力, δ_{SLexp} : 最大せん断力時のずれ

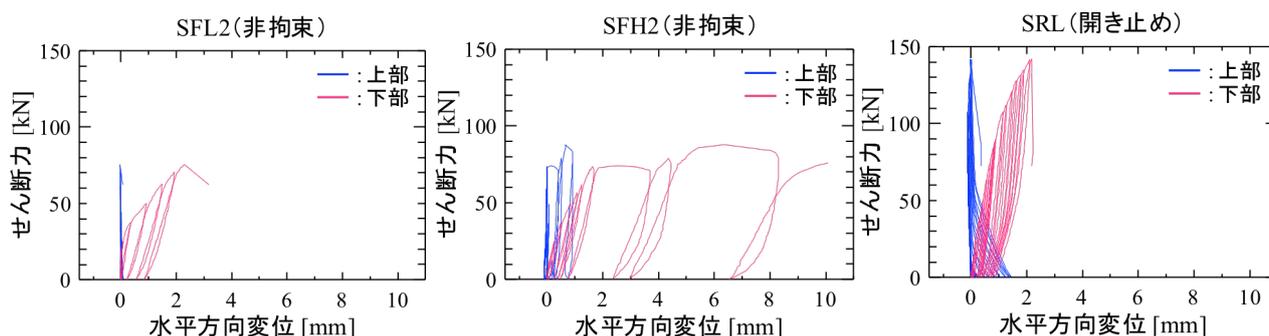


図9 コンクリートブロックの水平方向変位

高強度で床支持の1.05倍大きくなる結果となった。この開き止め供試体の耐力上昇もせん断力-ずれ関係同様に水平方向の拘束力による効果であり、床支持も摩擦拘束が生じていると考え、開き止めにより導入される拘束力は、最終的には床支持による拘束力を上回ったものと考えられる。

コンクリート強度がせん断耐力に与える影響を調べるため、表4に各供試体のせん断耐力実験値と、同一境界条件で目標強度が31N/mm²の供試体のせん断耐力実験値 $V_{SL\#31}$ の比を示した。非拘束供試体では、 $V_{SLexp}/V_{SL\#31}$ は、SFL1, SFL2の実験結果の平均値とした。

非拘束の場合は、コンクリート強度の影響が強くみられ、強度が31N/mm²から53N/mm²と増加すると、せん断耐力が1.17~1.34倍増加する。これはコンクリートブロックの斜めひび割れがせん断耐力を決定しているためである。同様に、床支持の場合も供試体の破壊がスタッド破断によらないことから、せん断耐力が1.18倍増加し、せん断耐力に対するコンクリート強度の影響が見られる。非拘束供試体と床支持供試体は、異なる境界条件であるが同程度のせん断耐力増加となる。しかし、コンクリートの破壊形態が大きく異なるため、圧縮強度がせん断耐力に与える影響は全く異なる機構によると思われる。

開き止め供試体は、圧縮強度の増加により1.04倍のせん断耐力の増加があった。開き止め供試体はスタッド破断による破壊であるが、この破壊モードでもコンクリー

トブロック内部の破壊進展が、拘束力など、スタッドに作用する力の状態に影響する可能性が考えられる。本研究ではコンクリート内部の破壊挙動が不明であり、また、耐力増加がわずかで実験のばらつきとも言えるため、開き止め供試体におけるコンクリート強度の影響については、破壊過程も考慮した、より詳細な検討が必要である。

(3) コンクリートブロックの水平方向変位

図9に各供試体のコンクリートブロックの上下部における水平方向変位とせん断力の関係を示す。ここに示す水平方向変位は、左右コンクリートブロックの平均値で、コンクリートブロックの外側への移動を正とした。また、水平方向変位-せん断力関係は、SFL, SFH, SRの各シリーズ内で概ね共通の性状を示したため、ここでは各シリーズ1体ずつの結果を示す。

境界条件に関わらず、せん断力の増加によりコンクリートブロック下部は外側に移動する。一方、せん断力の増加による上部の移動はほとんど見られない。水平ひび割れの発生も考えれば、全ての供試体のコンクリートブロックでは載荷時に、ブロック下端が開くような曲げが生じていると考えられる。

履歴を見ると、開き止め供試体では徐荷時にコンクリート上部が開き、再載荷時に閉じることがわかる。また、残留変位は徐荷開始時のせん断力が増加するにつれて大きくなる。同様の挙動は、島³⁾の実験における、床支持

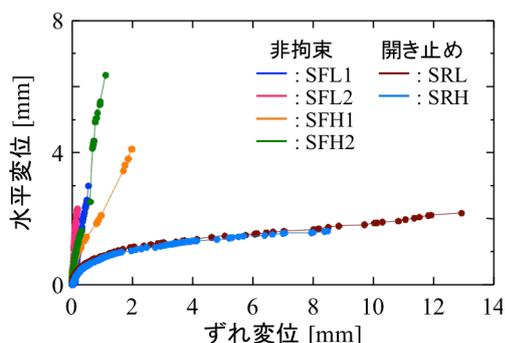


図-10 コンクリートブロックの水平変位-ずれ変位関係

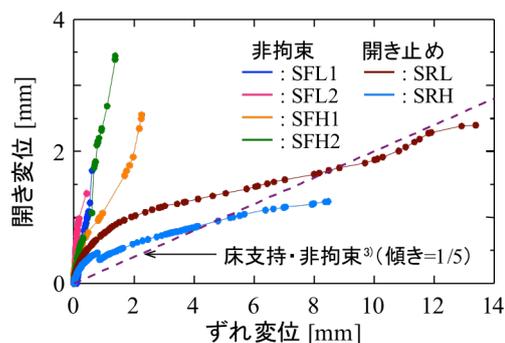


図-11 コンクリートとH形鋼フランジの開き-ずれ変位関係

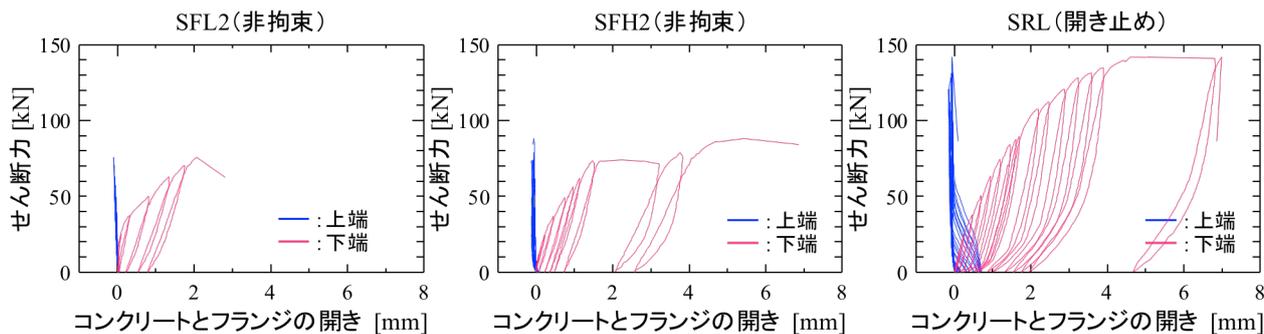


図-12 コンクリートブロックとフランジの開き

で開き止めを用いた供試体 (図-1(b)) で見られる。島³⁾は、スタッドのずれ挙動において、スタッド基部前面に生ずるくさび状のコンクリートがスタッドのずれとともに移動し、スタッド位置のフランジとコンクリートブロックを割り裂こうとする力が働くとする、くさびモデルを提案しており、開き止め供試体におけるコンクリートブロック上部が徐荷時に開くのはくさびの残留、再載荷時に閉じるのは開き止めによる拘束のためと説明している。島の実験と本実験の開き止めは、拘束方法や拘束力の作用位置など大きく異なるが、同様の挙動が見られるため本実験においてもくさびが生じている可能性がある。

島³⁾は、床支持で水平方向拘束が摩擦拘束の場合 (図-1(a))、非拘束供試体の場合 (図-1(c)) も実験を行っており、そのせん断力-ずれ関係は本実験の非拘束供試体の関係と同様の傾向を見せる。島は、この場合もくさびが生じ、コンクリート下部の大きな残留変位がくさびの残留によるものと説明している。本研究も下部コンクリートに大きな残留変位を見ることができ、コンクリートブロックには水平ひび割れが生じており、その影響による残留変位も考えられる。

図-10にずれ変位と水平変位の関係を示す。関係の傾きは、境界条件ごとにほぼ同一である。傾きは非拘束供試体ではほぼ直線であり、開き止め供試体ではずれ量の増加に伴い減少した後、ずれ変位が1~2mm程度で一定となる。開き止め供試体の傾き変化は、鋼板と丸鋼のネジ結合部、鋼板とコンクリートとの接合面での初期変位の影響だと思われる。一定となった傾きは、非拘束供試

体より非常に小さく、水平方向の拘束の影響と言える。

(4) コンクリートブロックとH形鋼フランジの開き

図-11に、スタッド位置のコンクリートブロックとH形鋼フランジの開きと、ずれ変位の関係の包絡線を示す。スタッド位置の開きはH形鋼上下端の開きから直線分布を仮定して求めた。

開き-ずれ変位関係は、コンクリートブロックの水平変位-ずれ変位にほぼ等しい傾向となった。すなわち、非拘束供試体はほぼ直線の関係を示し、開き止め供試体は傾きが徐々に減少した後ほぼ一定となる。そして非拘束供試体の傾きは開き止め供試体の傾きより大きい。

島の実験³⁾においても、床支持で水平方向拘束が非拘束の場合には開き-ずれ関係は直線関係となり、その傾きは1/5となることが示されている。傾きが1/5の直線を図-11に破線で示すが、本実験結果は開き止め供試体で1/5の傾きと同程度、非拘束供試体はそれ以上の傾きであり、ローラー支持によってフランジとコンクリート間の開きが大きくなるのがわかる。

図-12は、せん断力と、コンクリートブロックとH形鋼フランジの開きの関係である。ここでは、H形鋼の上端および下端での関係を示す。せん断力-開き関係も概ねコンクリートブロックの開きに等しく、せん断力の増加につれてH形鋼下端での開きが増加し、上端ではほとんど開きは発生しない。開き止め供試体では徐荷時に上部が開き、再載荷時には閉じる現象が見られ、これもコンクリートブロックの水平変位と同様であった。

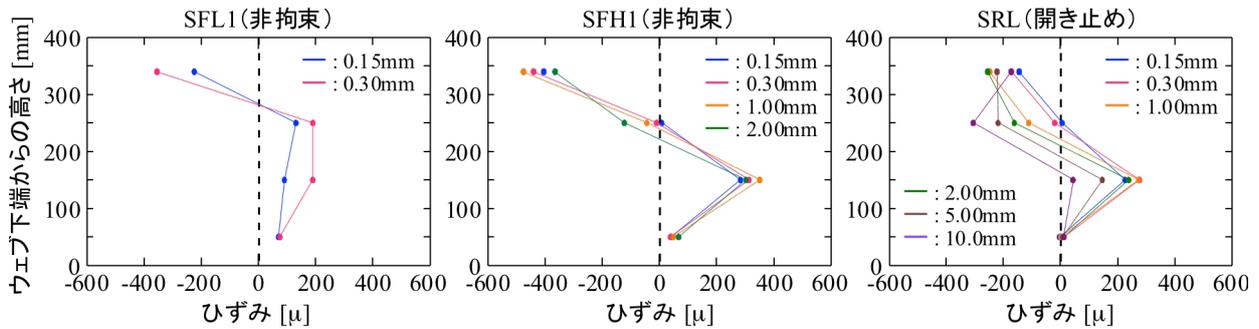


図-13 ウェブひずみ分布

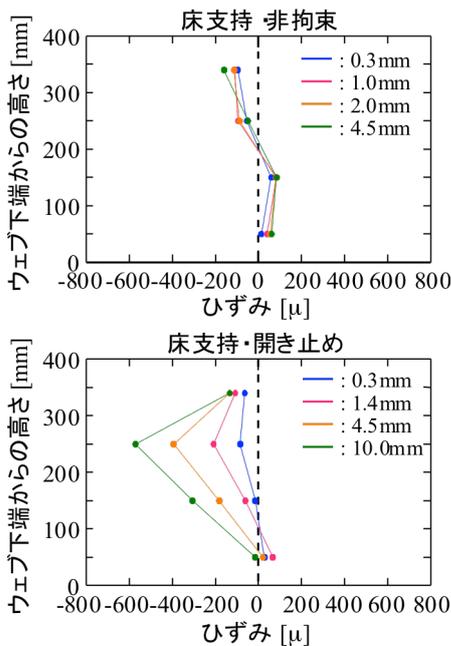


図-14 ウェブひずみ分布 (床支持)³⁾

(5) H形鋼ウェブのひずみ分布

図-13 に、あるずれ変位ごとのH形鋼ウェブの水平方向ひずみの分布を示す。ひずみは、ウェブのA、B面それぞれにおける同一高さ位置の測定点、合計4点のひずみ値の平均である。全ての供試体において、H形鋼の上部が圧縮、下部が引張となった。ひずみが0となる位置は、ずれ変位が0.3mm程度までは境界条件に関わらず等しく、高さ250mm付近である。これはずれ変位が0.3mm程度の载荷初期ではコンクリートブロックの開きが小さく、開き止めによる水平方向拘束力も小さいため、拘束の影響が小さいことによると考えられる。

開き止め供試体SRLでは、ひずみが0となる位置がずれ変位の増加とともに下方向へ大きく移動する。一方、非拘束供試体SFH1においても、ひずみが0となる位置の移動が、ずれ変位が1mmから2mmの間にわずかに見られる。図-14、図-15は、島の実験³⁾におけるH形鋼ウェブの水平方向ひずみの分布である。床支持・非拘束の分布は本実験と同様に上部で圧縮、下部で引張りとなるが、ひずみ0となる位置は異なり、ずれ変位の増加によるひずみ0となる位置の移動は見られず、分布の性状は本研究

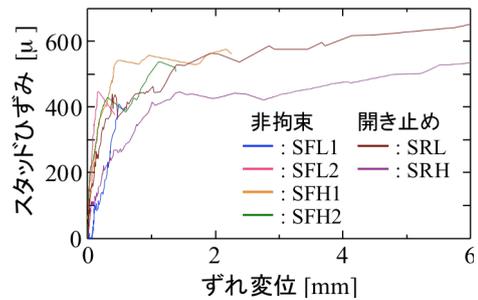


図-16 スタッド軸ひずみ

とは異なる。一方、床支持・開き止め供試体は引張力がほとんど発生せず、本実験での開き止めを用いた場合は性状が大きく異なった。

(6) スタッド軸ひずみ

図-16はずれ変位とスタッド軸ひずみの関係である。スタッド軸ひずみは、4本の平均値とした。いずれの場合も、ずれ変位の増加とともにスタッドひずみが大きく増加し、その傾きに顕著な差はない。非拘束で圧縮強度が小さいSFLシリーズ以外は、ずれ変位が0.5~1.0mm以降、ずれ変位に対するスタッドひずみの増加割合が大きく減少する。そのため、それらの破壊時のスタッド軸ひずみは、400μから750μ程度とほぼ等しくなった。

この傾きの変化としてまず考えられるのは、全ての供試体に共通する水平ひび割れの発生である。しかし、表-3に示したように、水平ひび割れの発生は傾きが変化するずれ変位に至る前であり、直接の原因とは言い難い。一方、この傾きが変化するずれ変位は、SFLシリーズの破壊時にほぼ等しい。SFLシリーズは、せん断変形によるものと思われるコンクリートブロックの斜めひび割れ発生により破壊している。開き止め供試体ではひび割れは発生していないが、SFLシリーズが破壊するずれ変位からせん断変位が卓越し始め、それがスタッド軸ひずみに影響しているとも考えられる。スタッド軸ひずみは、破壊挙動やせん断耐力に大きく影響することから、今後、コンクリートブロック部の挙動も考慮したさらなる検討が必要である。

4. 結論

本研究から得られた結論を以下にまとめる。

- ・ 非拘束供試体では、コンクリートブロックにおいてスタッド付近に水平ひび割れが発生した後、ブロック上部のH形鋼側から下部外側にわたる斜めひび割れが発生して急激な破壊に至る。せん断耐力は、床支持の境界条件下で求められた複合構造標準示方書の耐力式による算定値よりも小さくなる。
- ・ 開き止め供試体では、水平ひび割れは生じるが、斜めひび割れは発生しない。剛性低下は床支持の場合に比べ小さく、せん断耐力は複合構造標準示方書の耐力算定値よりも大きくなる。
- ・ 開き止め供試体に生じる拘束力は、せん断力の増加とともに大きくなる。開き止めにより導入される拘束力は、最終的には床支持による拘束力を上回ったものと考えられる。
- ・ せん断力の増加により、H形鋼下端とコンクリート間が開き、コンクリートブロックの下部が外側に開く。H形鋼上端は開かず、コンクリートブロック上部はほとんど移動しない。開き止め供試体では、徐荷時に上部が開き再載荷時に閉じる。
- ・ ずれ変位とコンクリートブロックの水平方向変位の関係は、非拘束の場合直線となる。その傾きは、開き止め供試体よりも大きい。
- ・ ずれ変位と、コンクリートブロックとH形鋼のフランジの開きの関係は、非拘束の場合直線となる。その傾きは、開き止め供試体および床支持で水平方向拘束が無い場合よりも大きい。
- ・ ウェブひずみ分布形状とひずみが0となる位置は、ずれ変位が小さい場合は、境界条件で違いは見られない。ずれ変位の増加に伴いその位置は下降し、開き止め供試体は下降量が大きい。床支持とは水平方向拘束の有無によらず、分布の性状が大きく異なる。
- ・ スタッド軸ひずみはずれ変位と共に増加し、あるずれ量以降は軸ひずみの増加率が大きく減少する。増

加率変化までの関係は境界条件によらずほぼ等しい。境界条件が明確なローラー支持による頭付きスタッドの押抜き試験は、コンクリートブロックの斜めひび割れ発生による早期破壊により、スタッドのせん断挙動を正しく評価できない。しかし、開き止めを用いることで、境界条件が明確なままスタッド破断に至るまで挙動評価が可能となる。よって、ローラー支持と開き止めを用いる押抜き試験方法は、明快な境界条件下での標準試験方法となる可能性があるが、開き止めによる拘束力はせん断力の増加とともに変動するため、本試験方法を用いた実験結果だけで水平方向拘束力の影響を定量的に評価するのは難しい。従って、ローラー支持で水平方向拘束力を制御した押抜き試験方法の実施が必要と考えられる。

謝辞：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（委員長：中島章典 宇都宮大学教授）において、本実験方法に関してご意見をいただきました。ここに、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：複合構造標準示方書（2009年度制定），2009
- 2) 日本鋼構造協会：頭付き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
- 3) 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A1，Vol.67，No.2，pp.307-319，2011
- 4) 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，Vo.2，pp.699-706，1994.11
- 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，Vo.13，No.2，pp.1-13，2002.5
- 6) 島弘，中島章典，渡部忠朋：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.29-37，2011.11
- 7) 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A，Vo.64，No.4，pp.935-947，2008.11

INVESTIGATION ON BONDARY CONDITON OF PUSH-OUT TEST FOR HEADED STUD SHEAR CONNECTORS

Ryosuke TAKAHASHI and Sigeihiko SAITO

Push-out test of headed stud shear connector is used to get shear force - slip relationship of stud connectors. In this test, test specimen is supported by the floor directly and boundary condition of this support is unclear. In this study, push-out test with clear boundary condition by using roller-support is conducted to investigate failure behavior under the condition. Effect of lateral restraint under that condition is also investigated. Test result shows that roller-support gives low shear capacity due to a diagonal cracking of concrete block. Using roller-support under lateral restraint gives higher shear capacity than floor-support and can evaluate shear behavior of stud with clear boundary condition.