

報告 押抜き試験における横方向拘束がずれ止めの耐荷挙動に与える影響

竹山 忠臣*1・有川 直貴*2・篠崎 裕生*3・牧 剛史*4

要旨：スタッドなどのずれ止めの耐力や変形性能は、押抜き試験により求められるのが一般的であるが、押し抜き試験で用いるコンクリートブロックの拘束の度合いが試験結果に影響を与えることが知られている。本研究では、拘束の度合いをブロック間を繋いだPC鋼棒の径により変化させた押し抜き試験を実施して、ずれ止めの耐荷挙動に与える影響を検討した。試験は、頭付きスタッドと鋼管ジベルについて実施した。試験の結果、拘束の度合いが小さくなるとコンクリートブロックが開き易くなり、初期剛性およびせん断耐力が低下する傾向が確認できた。

キーワード：ずれ止め, スタッド, 鋼管ジベル, 拘束

1. はじめに

著者らは、鋼合成桁とPC桁のずれ止め方式による接合方法を研究している¹⁾。この接合方式では、上下フランジおよびウェブに配したずれ止めによって、曲げモーメントとせん断力に抵抗する機構になっており、ウェブのずれ止めが必要なずれ抵抗を発揮するためには、ウェブの面外方向に十分な拘束力が働くことが重要であることが分かっている。そのため、面外拘束力を変化させた押し抜き試験²⁾や、それを構成則として取り入れた接合部の非線形FEM解析³⁾などを実施して、接合部の耐力や変形性能に与える影響について検討してきた。

これまでの試験²⁾では、コンクリートブロック背面に配置したL形鋼と、それらを繋ぐPC鋼棒で拘束を模擬していたが、L形鋼の変形により十分な拘束力を与えられない点が課題として残っていた(図-1)。そこで、コンクリートブロックに設けた貫通孔にPC鋼棒を配置して、直接的に拘束する方法に改善し、PC鋼棒の径を変えることで拘束の程度を変化させる試験を実施したので報告する。試験結果から、拘束の程度を変化させた時のコンクリートブロックの開きや、ずれ止めの初期剛性および耐力の変化について詳細に検討した。

試験の対象としたずれ止めは、頭付きスタッド(以下、スタッド)と鋼管ジベル⁴⁾である。鋼管ジベルは、鋼板孔にモルタルを充填した鋼管を挿入・固定してずれ止めとして機能させるもので、当該接合部の鋼桁ウェブに簡易に設置できるものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

本検討では、スタッド、鋼管ジベルそれぞれ大きさを

2種類とし、大きさに応じてコンクリートブロックと鋼板の厚さ等を変えている。試験体一覧を表-1に示す。図-2に直径48.6mm、厚さ3.5mm、長さ205mmの鋼管ジベルを2本、φ16mm、L=80mmのスタッドを8本用いた試験体を示す。コンクリートブロックの拘束は4本のPC鋼棒を用いて行った。コンクリートブロックにはPC鋼棒用に外径32mmの貫通孔を設けている。中央の鋼板には外径30mmの貫通孔をずれ変位が最大30mmまで許容できるように楕円形に設けた。図-3に直径34mm、厚さ2.3mm、長さ150mmの鋼管ジベルを2本、φ13mm、L=80mmのスタッドを8本用いた試験体を示す。直径48.6mmの鋼管ジベルを用いた試験体と同様、ずれ変位を最大30mmまで許容できるようにするため、中央の鋼板に外径26mmの貫通孔を楕円形に設け、両側のコンクリートブロックには外径26mmの貫通孔を設けた。いず

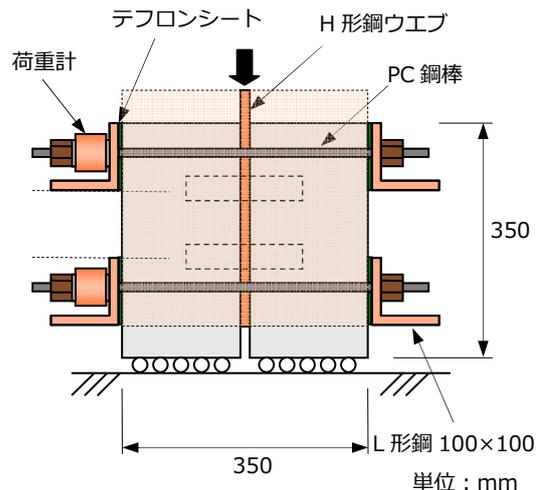


図-1 既往の研究²⁾におけるコンクリートブロックの拘束方法

*1 三井住友建設(株) 技術研究所 工修 (正会員)

*2 三井住友建設(株) 技術研究所 (正会員)

*3 三井住友建設(株) 技術研究所 博(工) (正会員)

*4 埼玉大学大学院 理工学研究科 博(工) (正会員)

表-1 試験体一覧

試験体名	ジベル種類	ジベル本数(本)	鋼板厚さ(mm)	試験体寸法(mm)	拘束方法(PC 鋼棒)	
					PC 鋼棒径 (mm)	断面積 (mm ²)
K48-26	鋼管ジベル φ48.6	2	16	600×600×250	26	530.9
K48-17					17	227.0
K48-13					13	132.7
K48-N					-	-
S16-26	スタッド φ16mm L=80mm	8			26	530.9
S16-17					17	227.0
S16-13					13	132.7
S16-N					-	-
K34-23	鋼管ジベル φ34	2	12	350×350×170	23	415.5
K34-17					17	227.0
K34-9.2					9.2	66.5
K34-N					-	-
S13-23	スタッド φ13mm L=80mm	8			23	415.5
S13-17					17	227.0
S13-9.2					9.2	66.5
S13-N					-	-

れも鋼板はコンクリートブロックよりも 50mm 高くしておき、鋼板を押し下げることにより、ずれ止めにせん断力を与えた。

鋼管ジベル²⁾は鋼板に貫通孔を設け、2面でせん断力を受け持つ。このため、鋼管ジベル1本のせん断耐力の計算値とスタッド4本のせん断耐力の計算値が同程度になるようにそれぞれ試験体を設定した。なお、鋼管ジベルの計算値は式(1)⁴⁾、スタッドの計算値は、複合構造標準示方書⁵⁾に示される式を用いて計算した。

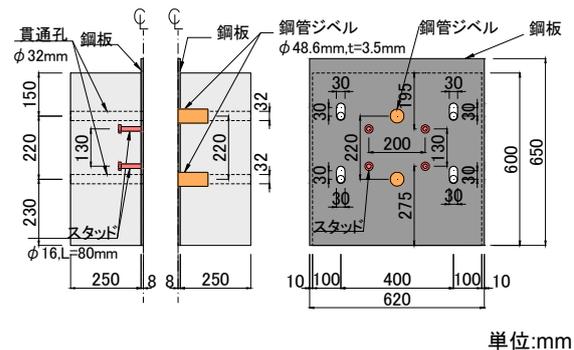
$$V_{spu} = 0.470A_m f'_{mu} + 2.0A_{sp} f_{pst} / \sqrt{3} + 98.1 \times 10^3 (N) \quad (1)$$

ここに、 A_m ：モルタル円柱の断面積(mm²)、 f'_{mu} ：モルタルの圧縮強度(N/mm²)、 A_{sp} ：鋼管の断面積(mm²)、 f_{pst} ：鋼管の引張強度(N/mm²)。

鋼管とスタッドの材料特性を表-2に示す。載荷時のコンクリートの圧縮強度は 52.8N/mm²、弾性係数は 33.6kN/mm²、引張強度は 4.1N/mm²、充填したモルタルの圧縮強度は 88.7N/mm²、弾性係数は 25.2kN/mm²であった。

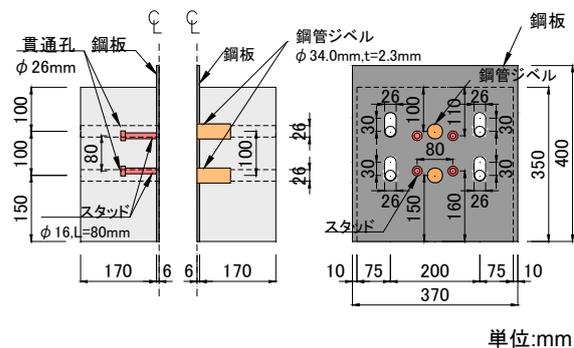
2.2 試験方法

試験は、図-4に示すような剛なレールの上を自由に移動できる(リニアガイド)の上に載せて、両側のコンクリートブロックが自由に水平移動できるようにした。コンクリートブロックの拘束で用いた PC 鋼棒を表-1に示した。直径 48.6mm の鋼管ジベル試験体の拘束方法は、26、17、13mm の PC 鋼棒を用いた 3 種類と軸方向



a) 正面図 b) 断面図(鋼板位置)

図-2 試験体 (K48, S16)



a) 正面図 b) 断面図(鋼板位置)

図-3 試験体 (K34, S13)

の拘束を行わない無拘束の4種類とした。直径 34mm の鋼管ジベル試験体の拘束方法は、23、17、9.2mm の PC 鋼棒を用いた 3 種類と軸方向の拘束を行わない無拘束の

4種類とした。スタッドを用いた試験体の拘束方法は同一種類の鋼管ジベル試験体と同じ拘束方法とした。PC鋼棒の張力を荷重計にて測定した。なお、コンクリートブロックとプレート間等の初期の馴染みを除去するため、試験前に予めPC鋼棒に1kNの張力を導入した。

図-5に直径48.6mmの鋼管ジベルを用いた試験体の計測位置図を一例として示す。鋼板とコンクリートブロックの鉛直ずれ変位はコンクリートブロックの中央高さで4箇所測定した。軸方向のコンクリートブロックの開き変位は、コンクリートブロックの上下端部から50mm位置でパイ型変位計を用いて計4箇所測定した。

荷重方法は、一方向漸増繰返し荷重とした。鋼板とコンクリートブロックの4箇所を測定していた鉛直ずれ変位の平均値が、1.0mmまでは0.2mm毎、1.0~4.0mmまでは0.5mm毎、それ以降は、5.0、6.0、8.0、10.0、12.0、15.0mm（15mm以降は5.0mm毎）でそれぞれ除荷した。

3. 実験結果

3.1 せん断力-鉛直ずれ変位関係

図-6に直径48.6mmの鋼管ジベル試験体のせん断力-ずれ変位関係を示す。鋼管ジベル試験体は、軸方向の拘束に用いるPC鋼棒の径を小さくすると、若干せん断耐力は低下したが、K48-26、K48-17、K48-13のせん断力-ずれ変位関係に大きな差は見られなかった。軸方向の拘束を行わないK48-Nのせん断力-ずれ変位関係は、ずれ変位が3.0mmを経過すると他の試験体のせん断力-ずれ変位関係よりも低下し、せん断耐力も15%程度低下した。また、いずれの試験体も既往の研究²⁾と同様、せん断耐力は計算値に達しなかった。

図-7にφ16mmのスタッド試験体のせん断力-ずれ変位関係を示す。スタッド試験体は、軸方向の拘束に用いるPC鋼棒の径を小さくする事で、せん断力-ずれ変位関係は低下し、せん断耐力も低下した。S48-26、S16-17、S16-13のせん断耐力は計算値に達したが、軸方向の拘束を行わないS16-Nは計算値に達しなかった。

図-8に直径34mmの鋼管ジベル試験体のせん断力-ずれ変位関係を示す。直径48.6mmの鋼管ジベル試験体

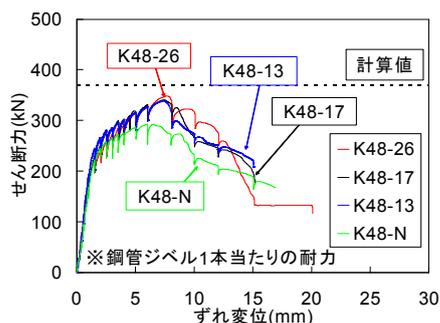


図-6 せん断力-鉛直ずれ変位関係 (K48)

の結果と同様、軸方向の拘束に用いるPC鋼棒の径が小さくなるにつれて、せん断力-ずれ変位関係は低下し、せん断耐力も低下した。また、K16-23だけせん断耐力の計算値に達したが、他の試験体のせん断耐力は計算値に達しなかった。

図-9にφ13mmのスタッド試験体のせん断力-ずれ変位関係を示す。φ16mmのスタッド試験体の結果と同様、軸方向の拘束に用いるPC鋼棒の径が小さくなるにつれて、せん断力-ずれ変位関係は低下した。また、せん断耐力もS34-Nのみ計算値に達しなかった。

表-2 材料特性

項目		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
鋼管	φ48.6mm	-	375
	φ34mm	482	499
スタッド	φ16mm	397	486
	φ13mm	357	470

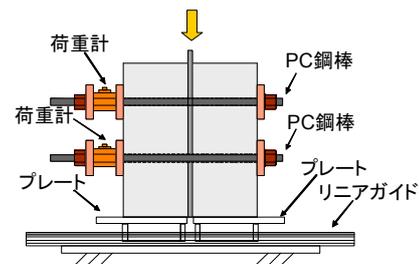
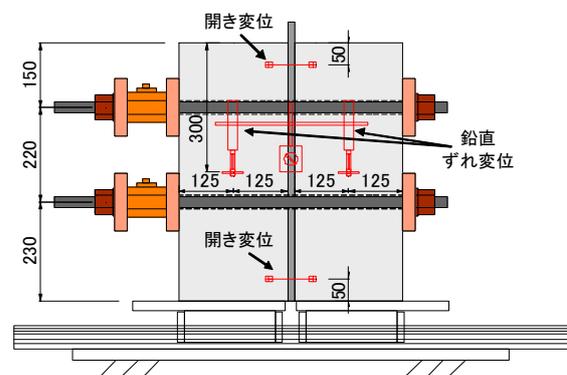


図-4 荷重方法



単位:mm

図-5 計測位置図

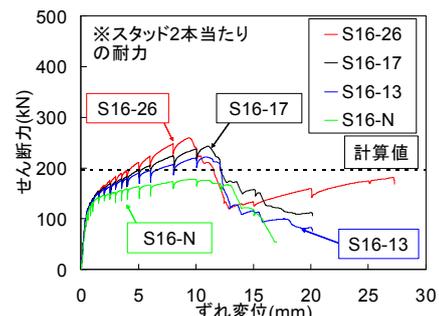


図-7 せん断力-鉛直ずれ変位関係 (S16)

3.2 コンクリートブロックの開き

せん断力とコンクリートブロックの開きの関係を図-10～図-13に示す。コンクリートブロックの開きは両面の平均としている。軸方向の拘束の度合いに関わらず、全ての試験体で下側の開き変位が上側の開き変位よりも大きくなっていることが分かる。これは、せん断力を大きくすると、コンクリートブロックが回転していることが原因として考えられる。

直径 48.6mm の鋼管ジベル試験体の K48-26, K48-17, K48-13 と $\phi 16\text{mm}$ のスタッド試験体の S16-26, S16-17, S16-13 は、せん断力が初期の段階では、コンクリートブロックの開きはほとんど変わらない。しかし、せん断力が大きくなると、軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒の断面積の小さい試験体のコンクリートブロックの開きは大きくなっている。

直径 34mm の鋼管ジベル試験体と $\phi 13\text{mm}$ のスタッド試験体は、せん断力が初期の段階から下側のコンクリートブロックの開きは、軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒の断面積が小さい試験体ほど大きくなっている。

ここで、図-14 に直径 48.6mm の鋼管ジベルと $\phi 16\text{mm}$ のスタッド試験体、図-15 に直径 34mm の鋼管ジベルと $\phi 13\text{mm}$ のスタッド試験体のせん断耐力と最大荷重時のコンクリートブロックの開きの関係を示す。なお、コンクリートブロックの開きは、試験体のジベル位置の中央

高さにおける開きとしている。

図-14 から直径 48.6mm の鋼管ジベル試験体は、軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒の断面積を小さくしても明確な差は見られなかったが、軸方向の拘束を行っていない K48-N のせん断耐力は低下し、その時のコンクリートブロックの開きは大きくなった。 $\phi 16\text{mm}$ のスタッド試験体は軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒を小さくすると、最大荷重時のコンクリートブロックの開き変位は大きくなった。

図-15 から、直径 34mm の鋼管ジベル試験体は、直径 48.6mm の鋼管ジベル試験体と同様、軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒の断面積を小さくしても、明確な差は見られなかったが、軸方向の拘束を行わない K34-N のせん断耐力は低下し、その時のコンクリートブロックの開きは大きくなった。 $\phi 13\text{mm}$ のスタッド試験体は、S13-17 が S13-23 よりもせん断耐力は低下しているが、最大荷重時のコンクリートブロックの開きは S13-23 よりも小さくなっている。これは、S13-23 の最大荷重は、鉛直ずれ変位が 20mm 程度の時であるのに対して、S13-17 は鉛直ずれ変位が 8mm 程度で最大荷重に達しているためである。

3.3 初期剛性

図-16 に直径 48.6mm の鋼管ジベル試験体と $\phi 16\text{mm}$ のスタッド試験体の初期割線剛性と PC 鋼棒の断面積、図-17 に直径 34mm の鋼管ジベル試験体と $\phi 13\text{mm}$ のス

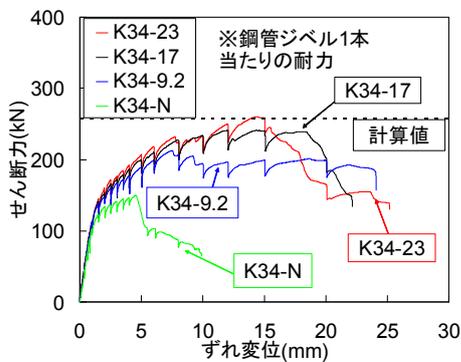


図-8 せん断力-鉛直ずれ変位関係 (K34)

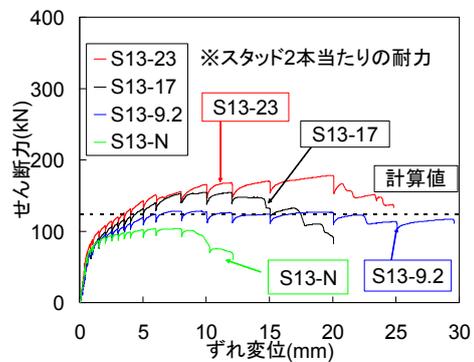


図-9 せん断力-鉛直ずれ変位関係 (S13)

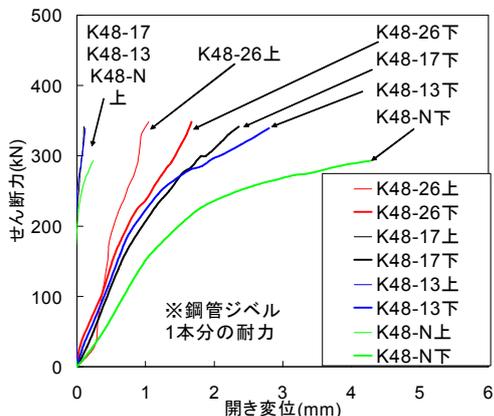


図-10 コンクリートブロックの開き (K48)

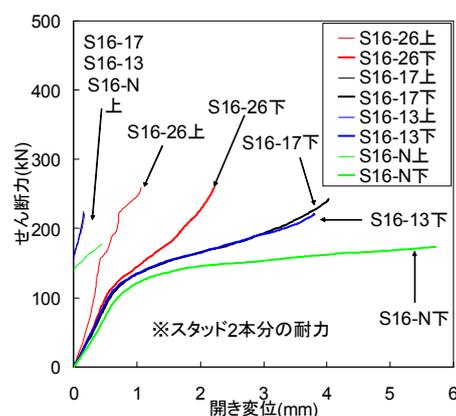


図-11 コンクリートブロックの開き (S16)

タッド試験体の初期割線剛性と PC 鋼棒の断面積の関係を示す。ここに、初期割線剛性は、せん断カーズれ変位関係の最大荷重の 1/3 における点と原点を結んだ直線の傾きである。

図-16 から直径 48.6mm の鋼管ジベル試験体と $\phi 16\text{mm}$ のスタッド試験体のいずれも軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒の断面積を小さくすると、K48-17 と S16-17、S16-17 と S16-13 でばらつきが見られるが、全体的に初期剛性が低下している。

図-17 から直径 34mm の鋼管ジベル試験体は、いずれも軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒の断面積を小さくすると、若干差が小さいが初期剛性が低下している。 $\phi 13\text{mm}$ のスタッド試験体は、S13-N の軸方向の拘束を行っていない試験体の初期剛性が若干高い。しかし、S13-23、S13-17、S13-9.2 の順に初期剛性は低下していることから、試験体間のばらつきが原因として考えられる。これより、軸方向の拘束を小さくするとコンクリートブロックは開き易くなり、初期剛性は低下する。

3.4 軸方向の拘束

図-18 に直径 48.6mm の鋼管ジベル試験体と $\phi 16\text{mm}$ のスタッド試験体、図-19 に直径 34mm の鋼管ジベル試験体と $\phi 13\text{mm}$ のスタッド試験体の軸方向の拘束に用い

た PC 鋼棒の断面積とせん断耐力の関係を示す。

いずれも軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒の断面積が小さいほど、せん断耐力は低下していることが分かる。

図-20 に直径 48.6mm の鋼管ジベル試験体と $\phi 16\text{mm}$ のスタッド試験体、図-21 に直径 34mm の鋼管ジベル試験体と $\phi 13\text{mm}$ のスタッド試験体の最大荷重時の PC 鋼棒の張力とせん断耐力の関係を示す。なお、PC 鋼棒の張力は、上段の PC 鋼棒 2 本の合計と下段の PC 鋼棒 2 本の合計の平均としている。

いずれも軸方向の拘束に用いる PC 鋼棒の断面積が小さいほど、PC 鋼棒の張力とせん断耐力が低下することがわかる。

このことから、鋼管ジベルおよびスタッドのずれ止めのせん断耐力は、軸方向の拘束の度合いに影響を受けることが明らかとなった。

4. まとめ

本検討では、鋼管ジベルとスタッドについて、コンクリートブロックの拘束の程度を変化させて押抜き試験を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) 拘束で用いた PC 鋼棒の径を小さくすると、鋼管ジベルとスタッドのせん断耐力と初期剛性が低下する傾

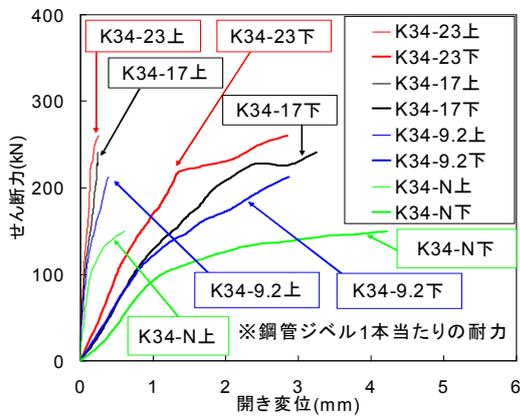


図-12 コンクリートブロックの開き (K34)

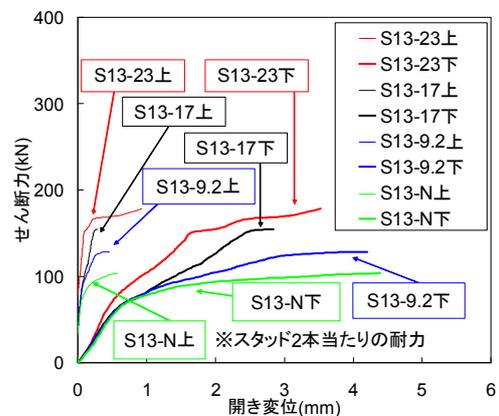


図-13 コンクリートブロックの開き (S13)

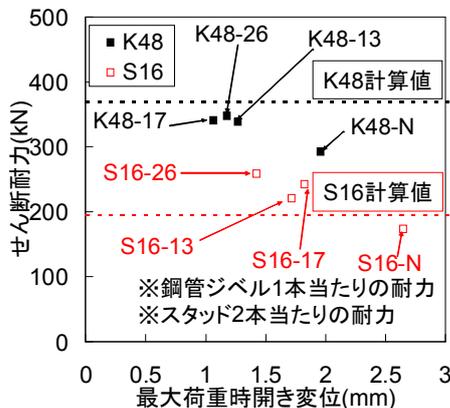


図-14 コンクリートブロックの開き (K48, S16)

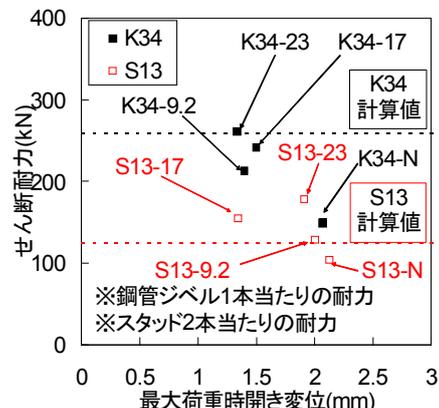
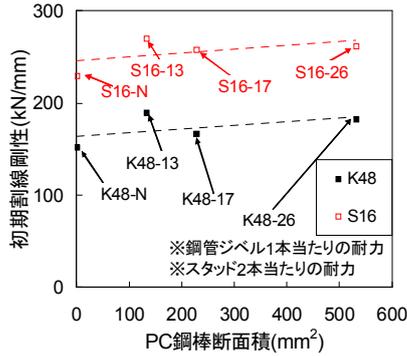
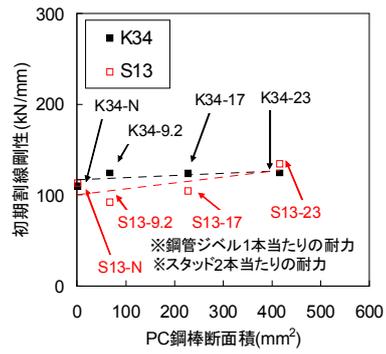


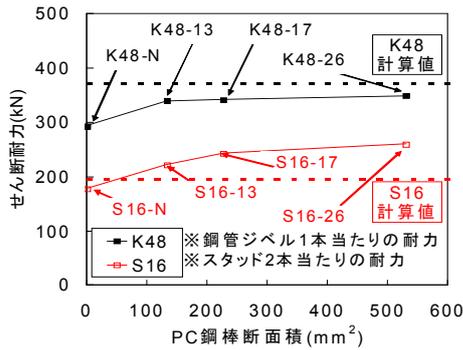
図-15 コンクリートブロックの開き (K34, S13)



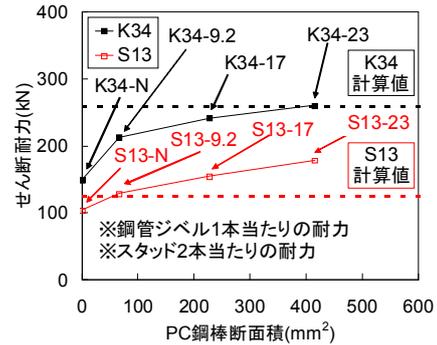
図一16 初期割線剛性とPC鋼棒断面積 (K48, S16)



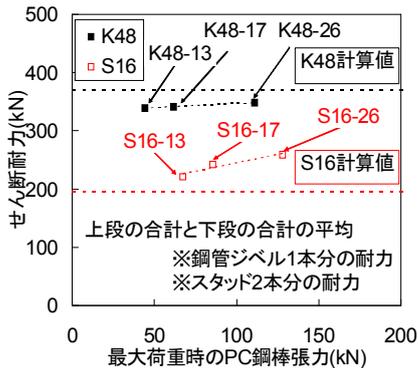
図一17 初期割線剛性と開き (K34, S13)



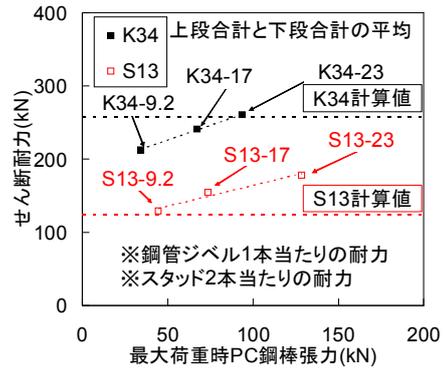
図一18 せん断耐力とPC鋼棒の断面積



図一19 せん断耐力とPC鋼棒の断面積



図一20 せん断耐力とPC鋼棒張力 (K48, S16)



図一21 せん断耐力とPC鋼棒張力 (K34, S13)

向が見られた。また、コンクリートブロックの開き変位は増大する傾向にあった。

- (2) コンクリートブロックの開き変位は、試験体の下方の方が大きく、ブロックがハの字に開いていることが分かった。

参考文献

- 1) 篠崎裕生, 浅井洋, 紙永祐紀, 牧剛史, 睦好宏史: 少数主桁形式の鋼合成桁とPC桁のずれ止め方式による接合構造の研究, 構造工学論文集 Vol.60A, pp.861-871, 2014.3
- 2) 有川直貴, 篠崎裕生, 浅井洋, 牧剛史: 押抜き試験における横方向拘束が鋼管ジベルのせん断耐力に

与える影響, 第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp399-402, 2014, 10

- 3) 牧剛史, 篠崎裕生, 有川直貴, 浅井洋: 接合面における面外拘束を考慮した鋼合成桁-PC桁接合部の非線形解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.1075-1080, 2015.7
- 4) 篠崎裕生, 浅井洋, 牧剛史, 睦好広志: 鋼板孔を利用した円柱部材によるずれ止めの実験的研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.3, 543-556, 2013
- 5) 複合構造標準示方書 2014年制定, 土木学会, 2014