

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

三井住友建設(株)	正会員	○有川 直貴
三井住友建設(株)	正会員 博(工)	篠崎 裕生
三井住友建設(株)	正会員 博(工)	浅井 洋
埼玉大学大学院理工学研究科	博(工)	牧 剛史

1. はじめに

著者らは、モルタルを充填した鋼管を鋼板孔に挿入・固定してずれ止めとして用いることを研究している¹⁾。このずれ止め（以下、鋼管ジベルと呼ぶ）は、同じ孔径の場合、貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルよりもせん断耐力を大きくできる。また、孔あき鋼板ジベルのように、孔内へのコンクリート充填に配慮する必要がない。鋼管ジベルは、例えば、混合構造接合部における鋼ウェブに配置するずれ止めとしての利用が有効である²⁾。当該部位では、周囲に貫通鉄筋として利用できる既設鉄筋がないこと、また、孔内へのコンクリート充填確認が困難なためである。

著者らは、鋼管ジベルのせん断耐力の確認のために、図-1に示す押し抜き試験を実施してきた。これは、頭付きスタッド（以下、スタッド）の押し抜き試験方法（案）³⁾に準じた方法で、孔あき鋼板ジベルの試験方法としても一般的なものである。しかし、本試験方法の場合、図-2に示すように、スタッドと鋼管ジベルでは、コンクリートブロック（以下、ブロック）内に設置した状態でずれ止めの軸方向が90度異なっている。スタッドのせん断力-ずれ変位関係は、スタッド軸方向の拘束条件に大きく依存することが知られている⁴⁾などが、鋼管ジベルも同様のことが言えるとすると、鋼管ジベルの軸方向は、補強鉄筋でコンクリートが一体化されており、拘束が大きくなっている可能性がある。ブロック底面の摩擦の影響も異なることが考えられる。

そこで本研究では、鋼管ジベルのせん断力-ずれ変位関係に与える鋼管軸方向の拘束の影響を明らかにする目的で、こういった不確定な拘束要因をできる限り除去した上で、別途治具により、拘束の大きさを変えた実験を実施した。

2. 実験の方法

試験体の形状寸法および拘束治具の詳細を図-3に示す。H形鋼ウェブに明けた孔に鋼管ジベルを設置し、ウェブ両面にコンクリートを打設する。H形鋼を押し下げることにより、鋼管ジベルにせん断力を与える。試験体は、剛なレール上を自由に移動できる台（リニアガイド）の上に載せて、左右のブロックが独立して自由に水平移動できるようにした。ブロックの水平方向の拘束度は、上下2段、計4本配置したPC鋼棒の太さを変えることにより変化させた。4本のPC鋼棒は、ブロック外側にL形鋼を介して配置している。L形鋼とブロック接触面にはテフロンシートを挟み、摩擦を除去した。文献⁴⁾によれば、載荷試験時にブロックが回転する（ブロックの下側が開き、上側が閉

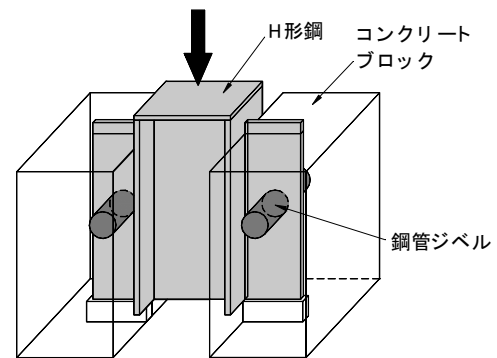


図-1 頭付きスタッドの試験方法に準じた鋼管ジベルの押し抜き試験

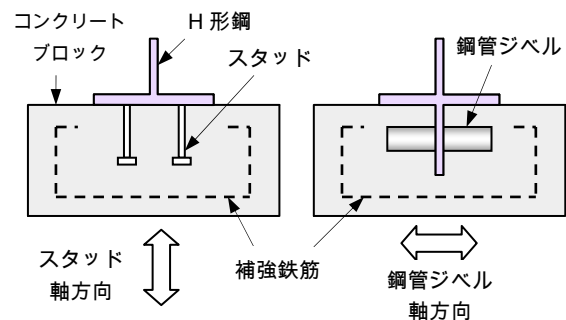


図-2 ずれ止め軸方向と拘束条件の違い

じる) ことの影響が大きいとしているが、ここでは、鋼管ジベルを上下2段に配置して回転が生じにくくしている。ブロックはD16により補強した(図-5)。

試験は、鋼管ジベルとスタッドで実施した。鋼管ジベルはφ34mm、厚さ2.3mm、長さ150mmの既製の構造用鋼管内にモルタルを充填したものである。既往の研究¹⁾から、ウェブ鋼板面から鋼管先端までの長さは70mm(鋼管直径の約2倍)とした。スタッドは軸直径が13mmで長さ80mmのものを用いた。鋼管とスタッドの材料特性値を表-1に示す。載荷時のブロックの圧縮強度は39.6N/mm²、割裂強度は2.71N/mm²、充填したモルタルの圧縮強度は81.2N/mm²であった。

表-2に拘束の条件を示す。用いたPC鋼棒の径とそのPC鋼棒に与えた初期張力の大きさを変えた4ケースとした。荷重計によりPC鋼棒の張力およびブロックの面外方向の変位等を計測した。載荷方法は、一方向漸増繰返し載荷とした。ブロック上面4箇所で計測したブロックとH形鋼の鉛直ずれ変位の平均値が、1.0mmまでは0.2mm毎、1.0mm~4.0mmまでは0.5mm毎、それ以降、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-ずれ変位関係

図-6に各試験体のせん断力-ずれ変位関係を示す。K-1は、せん断力の増加とともにブロックの開きが徐々に大きくなり、ずれ変位が5.0mmの時に365kNの最大せん断力を示した後、ブロック上面にひび割れが生じ徐々にせん断力が低下した。ST-1も同様にブロックの開きが大きくなり、ずれ変位3.5mmと5.0mm時にブロック上面にそれぞれひび割れが生じた。ずれ変位が4.0mmの時に196kNの最大せん断力を示した後は徐々にせん断力が低下した。K-1、ST-1とも、ブロックに生じたひび割れはブロック下面に貫通していた。

PC鋼棒の径がφ23mmのK-2、K-3については、ブロックの開きが抑えられることにより、せん断力が増加し、K-2はずれ変位8mm時に367kN、K-3はずれ変位6.7mm時に365kNの最大せん断力を示した。いずれの試験体も、最大せん断力に達した直後に鋼管が破断

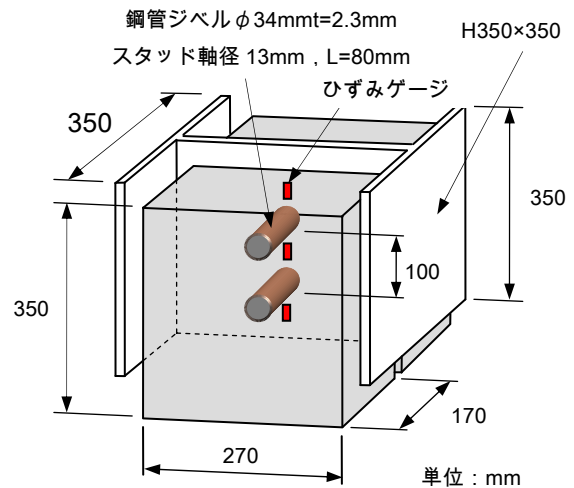


図-3 試験体形状

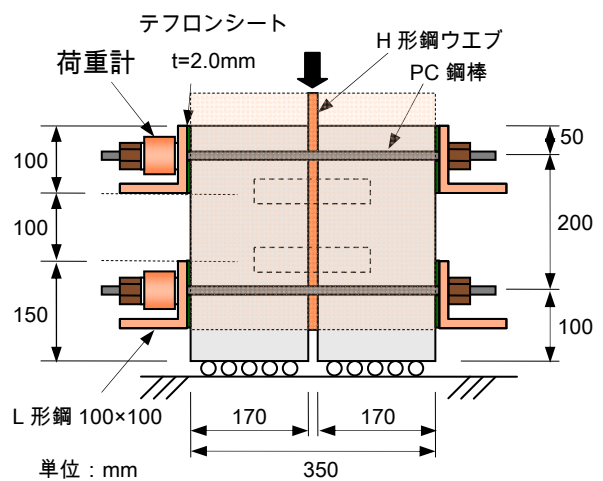


図-4 水平方向の拘束

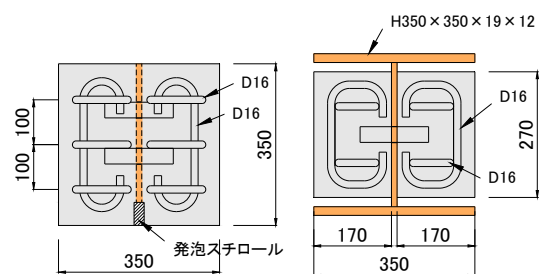


図-5 コンクリートブロックの鉄筋

表-1 鋼材の材料特性値

項目	鋼管	スタッド
降伏強度(N/mm ²)	427	373
引張強度(N/mm ²)	460	454

表-2 拘束の条件

試験体名	拘束 PC 鋼棒	初期張力 (kN)
K-1, ST-1	—	0.0
K-2, ST-2	φ 23	0.0
K-3, ST-3	φ 23	1.0
K-4, ST-4	φ 16	1.0

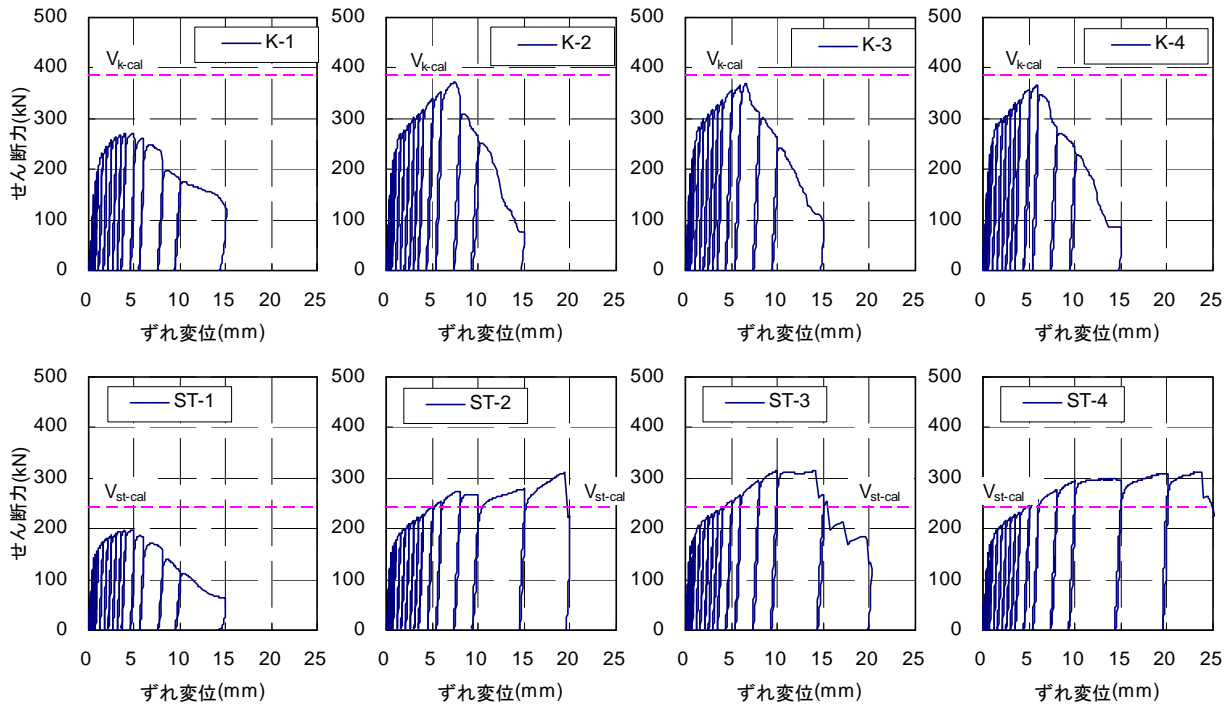


図-6 せん断力-ずれ変位関係

してせん断力は大きく低下した。ブロックにひび割れは生じていなかった。K-2, K-3を比較すると初期緊張力の影響は小さいことが分かる。同じφ23mmのPC鋼棒で拘束したST-2も同様にせん断力が大きく上昇した。ずれ変位8.0mmと10mmにおいてブロックにひび割れが生じたが、さらにせん断力が上昇し、20mm時に最大せん断力310kNを示した。ST-3はずれ変位が10mmを少し超えた時点でブロックにひび割れが生じ、その後、ずれ変位14mm時にスタッドが破断する音がしてせん断力が大きく低下した。

PC鋼棒の径がφ16mmのK-4は、ずれ変位6.0mm時に最大せん断力360kNを示した後、鋼管が破断してせん断力が低下した。K-2やK-3と大きな差異はなく鋼棒径の影響は小さい。ST-4は、ずれ変位12mm時にブロックにひび割れが生じてそれ以降のせん断力の増加が緩やかになり、24mm時に最大せん断力311kNを示してスタッドが破断した。本試験の範囲では、PC鋼棒の径や初期緊張力は耐荷挙動にほとんど影響しないことが分かった。図-6の破線は、せん断耐力計算値を示す。鋼管ジベルのせん断耐力は以下の式(1)で計算した¹⁾。

$$V_{spu} = 0.470A_m f'_{mu} + 2.0A_{sp} f_{spt} / \sqrt{3} + 45.0 \times 10^3 \text{ (N)} \tag{1}$$

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_{spt} ：鋼管の引張強度(N/mm²)、スタッドは複合構造標準示方書⁵⁾にしたがって計算した。鋼管ジベルは、PC鋼棒による拘束があっても、計算せん断耐力に達していない。

3.2 ブロックの開き

図-7にブロックの開きを示す。上下のPC鋼棒位置における、左右ブロック端間の距離

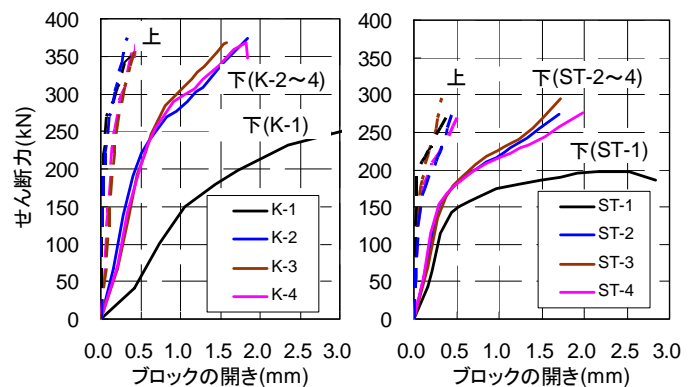


図-7 ブロックの開き

を測定したものである。上側の開きは拘束の有無に関わらず概ね同様の傾向を示しており、最大せん断力時でも0.5mm以下であった。下側は、拘束のないK-1, ST-1は载荷初期より大きな開きが見られるが、それ以外は拘束があるため開きが抑えられている。ただし、上下で比較すると一定の差が生じているため、ブロックが回転している様子が伺える。開きの大きさやその傾向に拘束の大きさや初期張力の影響は見られなかった。

図-8にPC鋼棒の張力変化を示す。上側の張力にほとんど変化は見られないが、下側はずれ変位が大きくなるせん断力付近から張力の増加が顕著になる傾向が見られた。しかし、これに関しても、拘束の大きさの違いによる影響は見られなかった。

図-9には、図-3の位置で計測した鋼板のひずみ(表裏の平均)を、ずれ止めの上と下で差を取り表示したものである。このひずみ差が大きいほどずれ止めが負担するせん断力が大きいと考えられる。これを見ると、鋼管ジベルは下に配置したものの負担が大きいのに対し、スタッドは上に配置したものが負担が大きくなっていることが分かる。これは、鋼管ジベルとスタッドの形状の違いとブロックの動きが相互に関連して生じているものと考えられる。今後、ブロックの拘束をモデルに取り入れた非線形FEM解析により、さらに検証を進めて行く予定である。

4. まとめ

鋼管ジベルとスタッドについて、ブロックの水平方向の拘束の条件を変えた押抜き試験を実施した。以下の知見が得られた。

- (1)ブロックの拘束が全くない場合、ブロックの開きが大きくなり、せん断耐力は計算値を下回る。
- (2)ブロックを拘束するとせん断耐力が向上するが、本試験の範囲では拘束の大きさが耐荷挙動やせん断耐力に与える影響は小さい。
- (3)縦に2箇所 of ずれ止めのうち、鋼管ジベルは下の、スタッドは上のずれ止めのせん断力の負担が大きかった。

参考文献

- 1) 篠崎裕生, 浅井洋, 牧剛史, 睦好宏史: 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.
- 2) 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
- 3) 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案): (社)日本鋼構造協会テクニカルレポート, No.35, pp.1-24, 1996.11
- 4) 高橋良輔, 斉藤成彦: 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, 第10回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, pp.25-1~25-8, 2013.11
- 5) 複合構造標準示方書2009年制定, 土木学会, p.60, 2009.

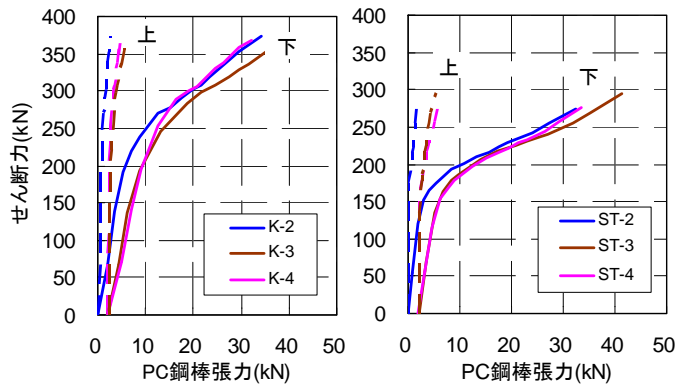


図-8 PC 鋼棒の張力

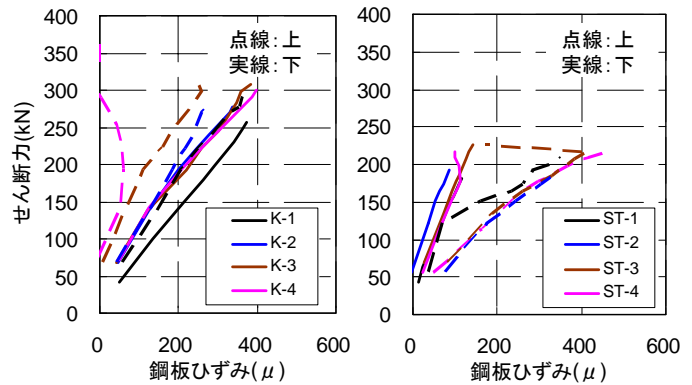


図-9 ずれ止め上下の鋼板のひずみ差