

直接せん断試験によるスタッドの軸部せん断破壊耐力の検討

宇都宮大学 学生員 ○NGUYEN MINH HAI フェロー会員 中島章典
非会員 越智みちる

1. はじめに

鋼コンクリート複合構造のずれ止めとして頭付きスタッド（以下、スタッドと略記）が最も一般的に用いられている。このスタッドのせん断耐力評価式は、日本鋼構造協会の押抜き試験方法（案）¹⁾（以下、押抜き標準試験と略記）などに基づいて構築されている場合が多い。スタッドの軸部せん断破壊に基づく耐力は、例えば、以下の複合構造標準示方書²⁾に規定された式 (1) によって評価される。

$$V_{ssud} = A_{ss} f_{ssud} / \gamma_b \quad (1)$$

ここに、 f_{ssud} ：引張強度 (N/mm²)、 A_{ss} ：軸部断面積 (mm²)、 γ_b ：部材係数である。しかし、押抜き標準試験では、スタッドの軸部はおもにせん断を受けるのに対して、軸部が引張で破断する耐力評価式となっており、メカニズムの上から疑問が呈されている。

そこで本研究では、丸鋼を用いた直接せん断試験により、スタッドの軸部せん断破壊を模擬したせん断耐力の確認を試みた。

2. 試験体および試験方法

ここでは、スタッド軸部を模擬した直径 16mm、長さ約 700mm、JIS 規格 SR235 の丸鋼の試験体を用いた。引張試験による丸鋼の降伏強度および引張強度はそれぞれ、331N/mm² および 496N/mm² である。

せん断試験の状況を図-1 および図-2 に示す。図-1 に示す中央鋼板の両側に丸鋼を固定する鋼ブロックを配置している。丸鋼の浮き上りを防止し、また、スタッド頭部による引抜き抵抗を再現するために丸鋼を両側の鋼ブロックと鋼板（以下、上鋼板と略記）で挟み、鋼ブロックと上鋼板に空いている 4 つの孔にそれぞれ M22 のボルトを通し締め付ける。中央鋼板に鉛直方向の荷重を与えることで、丸鋼に軸直角方向のせん断力を与える。

図-2 に示す鋼ブロックの寸法は、幅 300mm、奥行 200mm、高さ 108mm であり、丸鋼を挟む上鋼板の寸法は、幅 300mm、奥行き 200、厚さ 28mm である。また、中央鋼板の寸法は、厚さ 30mm、奥行き 65mm、高さ 89mm で、丸鋼を通す孔の直径は 17mm である。中央鋼板と鋼ブロックとの隙間をパラメータとして設定した。また、丸鋼と鋼ブロックの間の摩擦作用を変化させるために、ボルトを締め付ける力の強弱も試験のパラメータとしている。

試験体一覧と試験で得られたせん断耐力を表-1 に示す。試験体名の L の後に続く数字は隙間を示しており、摩擦作用の強弱を S, W を添えることで区別した。例えば、隙間が 4.5mm で摩擦作用が強い試験体を L4.5S と表記する。

油圧ジャッキを有するフレーム載荷試験装置を用いて、中央鋼板の上面に載荷板および球座を挟み、単調載荷を行う。また、鋼ブロックと中央鋼板との間の荷重作用方向の相対変位（以下、鉛直変位と略記）および丸鋼両端における水平方向の変位（以下、水平変位と略記）を高感度変位計で計

表-1 試験体一覧

試験体名	隙間 (mm), 摩擦作用	せん断耐力 (kN)
L4.5S	4.5, 強	80.9
L5S	5, 強	85.3
L5W	5, 弱	87.0
L10S	10, 強	87.0
L10W	10, 弱	85.4
L15S	15, 強	80.2
L15W	15, 弱	85.6
L20S	20, 強	88.2

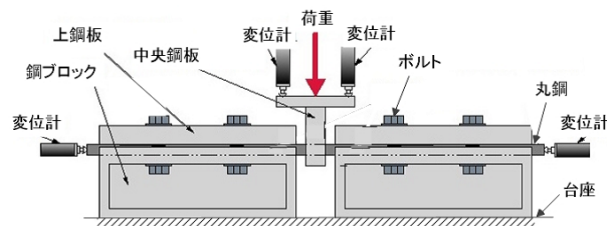


図-1 直接せん断試験の状況

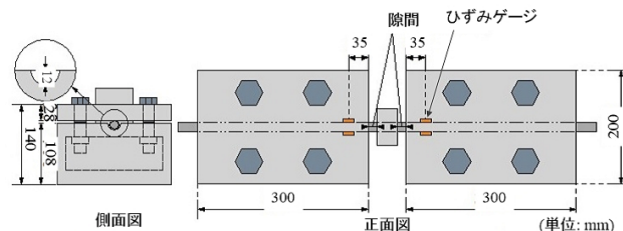


図-2 治具等の寸法

測する。さらに、スタッド軸部のひずみを計測するため、図-2 に示すように鋼ブロック端部から 35mm の位置の丸鋼の側面にそれぞれひずみゲージを貼付し計測する。

3. 試験結果と考察

(1) せん断力-鉛直変位関係およびせん断耐力

全試験体のせん断力-鉛直変位関係を図-3 に示す。縦軸は載荷荷重の 1/2 を一面当りのせん断力とし、横軸は計測した 2ヶ所の鉛直変位の平均値である。また、摩擦作用の強弱は図中の実線と破線、隙間の違いは線の色で区別している。そして、せん断力の最大値をせん断耐力とする。

一方、前述の複合構造標準示方書²⁾の耐力評価式 (1) に丸鋼の引張強度 f_{ssud} 、軸部断面積 A_{ss} および部材係数 $\gamma_b = 1.0$ を代入して求められる耐力は 99.8kN となる。これを、図-3 に黒点線で示している。

さらに、比較のために著者らが実施した軸径 16mm、高さ 90mm のスタッドの押抜き標準試験に基づくせん断力-ずれ変位関係を黒実線で同図に示している。ここで、用いたスタッドの降伏強度、引張強度はそれぞれ 401N/mm²、436N/mm² であり、コンクリート圧縮強度は 36.1N/mm² である。

図-3 から、直接せん断試験の結果では、隙間部分の丸鋼

Key Words: 複合構造, 頭付きスタッド, 直接せん断試験, 軸部せん断破壊耐力

〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院工学研究科 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208

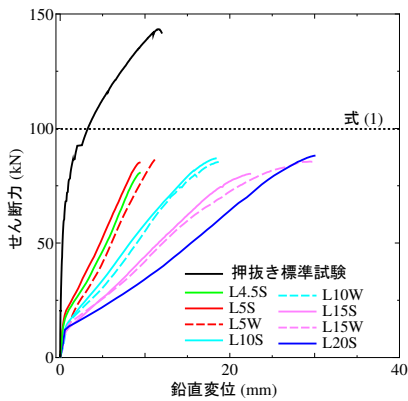


図-3 セン断力ー鉛直変位関係

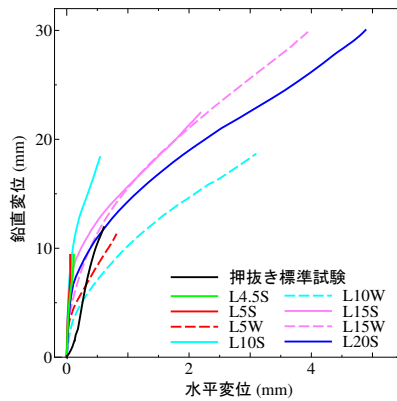


図-4 鉛直変位ー水平変位関係

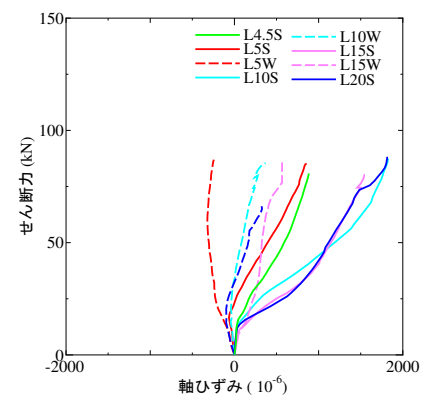


図-5 セン断力ー軸ひずみ関係

に対してコンクリートの支圧の影響がないため、せん断力が 17kN 程度以上になると、押抜き標準試験の結果よりも鉛直変位が急激に大きくなり、直接せん断試験の隙間が大きいほどやはり鉛直変位は大きい。ただし、摩擦作用の強弱による鉛直変位の差異は見られず、また、隙間の大きさおよび摩擦作用の強弱に関わらずせん断耐力は同程度である。そして、この値は式 (1) で求められるせん断耐力よりも 15% 程度小さい。

(2) 鉛直変位ー水平変位関係

図-4 は全試験体の鉛直変位と水平変位関係を示す。ここで、縦軸は鉛直変位を、横軸は丸鋼の両側で計測した水平変位の平均値である。摩擦作用の強弱および隙間の違いは図-3 と同様に実線と破線および線の色で区別している。また、参考のために押抜き標準試験で得られたずれ変位ースタッド軸方向変位関係を黒実線で示している。

図-4 から、本研究の直接せん断試験の結果では、破線で示す摩擦作用が弱い方が同じ鉛直変位に対して水平変位が大きくなる傾向が見られる。特に、隙間が 5mm あるいは 10mm の場合にその差は大きい。これは、隙間が小さい場合には鉛直変位が増加するにつれて丸鋼の長さ変化に追従する水平移動が必要とされるためであると考えられる。ただし、桃色で示す隙間 15mm の結果では、摩擦作用の強弱による差異があまり認められない。これは、摩擦作用が強いはずの L15S の実験において、片側のボルトの締め付けが十分でなかったためであると考えられる。

(3) セン断力ー軸ひずみ関係

全試験体のせん断力と丸鋼の軸ひずみの関係を図-5 に示す。縦軸はせん断力を、横軸は図-2 に示すように鋼ブロック内の丸鋼の水平部分に貼付したひずみゲージによる軸ひずみを示している。

図-5 から、隙間の大きさに関わらず同じせん断力に対して、摩擦作用が強い方が軸ひずみは大きい傾向が認められる。これは、摩擦作用が弱い場合には鋼ブロックと上鋼板による摩擦力が小さく図-4 に示すように丸鋼の両端部が水平方向に移動するからである。これに対して、摩擦作用が強い場合には、摩擦作用による拘束力のためある程度の軸ひずみが生じることがわかる。ただし、その拘束力による軸ひずみは 2000×10^{-6} 程度であり、あまり大きくないと言える。



写真-1 試験体 L4.5S のせん断破壊面



写真-2 押抜き標準試験時のスタッドのせん断破壊面

(4) 丸鋼のせん断破壊面の状況

一例として、写真-1 に試験体 L4.5S のせん断破壊面の状況を示し、写真-2 には、比較のために押抜き標準試験時のスタッドのせん断破壊面の状況を示す。これらの写真からスタッドを模擬した丸鋼のせん断破壊面は延性的ではなく、脆性的であることがわかり、押抜き標準試験時のスタッドのせん断破壊面によく似ていることがわかる。

4. まとめ

本研究では、丸鋼を用いた直接せん断試験により、頭付きスタッドの軸部せん断破壊を模擬したせん断耐力の確認を試みた。押抜き標準試験におけるスタッド軸部と周辺コンクリートの支圧の影響を、ここでは、丸鋼を支持する鋼ブロックと載荷板の隙間で表現した。その結果、隙間の大きさに関わらず、得られた丸鋼のせん断耐力は、複合構造標準示方書に示されるスタッドの軸部せん断破壊耐力に比較して 85% 程度と小さくなった。この理由は、押抜き標準試験では、スタッドの軸部せん断抵抗のほかに、コンクリートブロックと H 形鋼フランジの摩擦の影響などがあるためだと考えられる。また、隙間の大きさに関わらずせん断耐力は同程度の値となっているが、これは、試験時の丸鋼の引張縁のひずみが破断ひずみに達し、脆性的な破断が生じたためと推測される。

なお、本研究を行うに当たっては、北武コンサルタント株式会社副社長渡辺忠朋氏に貴重な助言をいただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 社団法人日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状，1996.11.
- 2) 土木学会複合構造委員会：複合構造標準示方書 2009 年制定，2009.12.
- 3) 土木学会複合構造委員会：複合構造ずれ止めの抵抗機構の解明への挑戦，複合構造レポート 10，2014.7.