

# 鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価

宇都宮大学 学生員 ○ 平野優麻 正会員 Nguyen Minh Hai フェロー会員 中島章典  
正会員 藤倉修一

## 1. はじめに

近年、プレキャスト床版同士やプレキャスト壁高欄同士などの狭隘な接合構造に孔あき鋼板ジベルの適用が検討されている。この接合方法により、現場での接合部内の配力鉄筋の配置作業の省略や接合部の寸法を縮小することが期待されている。この接合方法では、孔あき鋼板ジベルに鋼繊維補強モルタルを併用することで、モルタル中の鋼繊維がジベル孔周辺の拘束効果に寄与し、孔あき鋼板ジベルのせん断耐力向上や耐力到達後のせん断力の急な低下を防ぐ効果が既往研究より確認されている<sup>1)</sup>。

本研究では、押抜きと引抜き試験の結果に基づいて、配力鉄筋の無い状態での鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を適切に評価できる式を検討した。

## 2. 押抜き試験と引抜き試験

これまで著者らは、図-1に示す押抜き試験体と引抜き試験体を計41体用いて、試験を実施してきた<sup>1)-3)</sup>。その試験結果から、配力鉄筋の無い鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は、モルタルの圧縮強度、ジベル孔径、モルタルブロックの寸法とともに増加することが分かった。また、他の諸元が同じ場合、押抜き試験体のせん断耐力は引抜き試験体のせん断耐力より幾分か大きいことも分かった。

しかし、孔あき鋼板ジベルを狭隘な接合部に適用する場合には、ジベル鋼板の寸法も小さくするため、せん断力の増加につれてジベル鋼板の一部が降伏する可能性がある。このジベル鋼板の降伏は、孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に影響すると考えられるが、既往研究<sup>3)</sup>では明らかになっていない。さらに、試験体にはモルタル中の鋼繊維体積混入率が2.3%の1種類のモルタルを用いたが、この混入率が孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に及ぼす影響も明らかになっていない<sup>1)-3)</sup>。

本研究では、上記の既往研究で明らかにされていない鋼繊維混入率、鋼板幅が孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に及ぼす影響に着目して、表-1に示したような12体の試験体の引抜き試験を新たに行った。この表における試験体名では、PLの後の数字はモルタルの材齢、Aの後の数字はジベル鋼板幅、Fの後の数字は鋼繊維の体積混入率を表しているが、体積混入率が2.3%の場合にはその数字を記載していない。表-1から、モルタルの圧縮強度( $f'_c$ )は必ずしも鋼繊維の混入率には依存していないが、モルタルの曲げ強度( $f_b$ )が鋼繊維の混入率とともに増加している。

引抜き試験から得られた12体の試験体のせん断力-ずれ変位関係を図-2の左側に示す。図における破線はモルタル中の鋼繊維混入率の影響に着目した関係であり、実線はジベル鋼板の幅の影響に着目した関係である。

青、緑、赤の破線で示された鋼繊維の体積混入率が2.3%、1.5%、0.8%の試験体のせん断耐力の平均値はそれぞれ105kN、85kN、71kNであり、表-1に示した鋼繊維混入率が異なるモルタルの曲げ強度の大小関係に対応している。つまり、モルタル中の鋼繊維混入率の増加によって、モルタルの曲げ強度が増加するとともにジベル鋼板周辺のモルタル

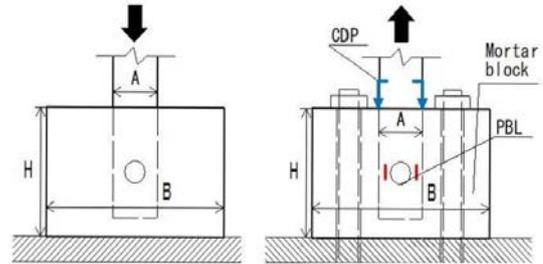


図-1 押抜き試験体(左)と引抜き試験体(右)

表-1 試験体一覧

試験体名	ブロック寸法 (mm)			鋼板		鋼繊維補強モルタル		体数 (体)
	高さ	幅	奥行	幅 (mm)	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$f'_c, f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	材齢 (日)	
PL28A75	150	300	200	75	296	100.4, -	28日	2
PL28A85	150	300	200	85	338	92.3, -	28日	2
PL28A125	150	350	300	125	296	102.9, -	28日	2
PL3A105	150	200	200	105	338	83.1, 29.2	3日	2
PL3A105F1.5	150	200	200	105	338	81.9, 22.9	3日	2
PL3A105F0.8	150	200	200	105	338	74.2, 19.1	3日	2

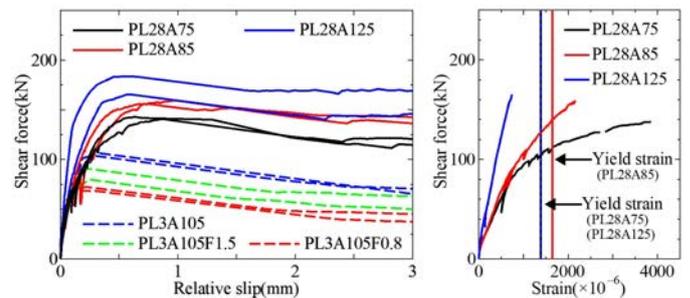


図-2 引抜き試験のせん断力とずれ変位または鋼板ひずみの関係

の拘束効果も増加するため、結果的に孔あき鋼板ジベルのせん断耐力が増加したと考えられる。

黒、赤、青の実線で示された鋼板幅が75mm、85mm、125mmの試験体のせん断耐力の平均値は、鋼板幅の増加とともに増加している。図-2の右側はジベル鋼板幅を変えた試験体のせん断力と図-1の右側に示すジベル鋼板の対面に貼付したひずみゲージ(赤長方形)の計測値の平均値との関係を示す。2本の縦線はそれぞれ色に対応した試験体のジベル鋼板の降伏ひずみの値である。この図から、青実線はほぼ直線となっているが、他の線は非線形挙動となっている。また、ジベル鋼板幅が75mmの試験体の関係を表す黒線は、ひずみが降伏ひずみに達した後のせん断力は大きく増加していない。このことから、引抜き試験体のジベル鋼板幅が小さい場合には、ジベル鋼板の降伏が孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に影響していると考えられる。

## 3. せん断耐力評価式の検討

既往研究<sup>4)</sup>では、以下のせん断耐力評価式(1)が提案されている。この式における孔あき鋼板ジベルのせん断耐力( $Q_u$ )は、ジベル孔面積( $A$ )、コンクリート圧縮強度( $f'_c$ )、ジベル鋼板厚( $T$ )とジベル鋼板を取り囲むコンクリートブロックの側面積( $A_s$ )の相対的な関係に依存していることを表している。 $\kappa$ はジベル鋼板の拘束度を表す係数である。

$$Q_u = 0.15\kappa A f'_c{}^{0.65} A_s{}^{0.43} T^{-0.5} \quad (1)$$

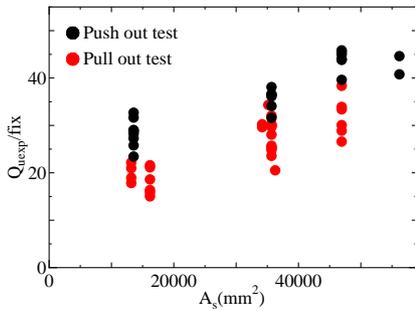


図-3 試験方法およびブロック側面積の影響

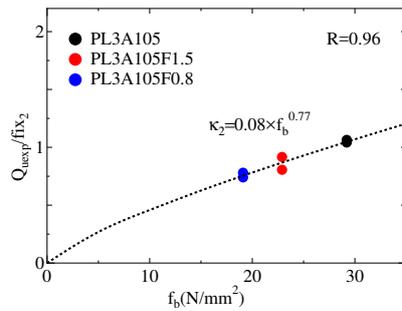


図-4 モルタルの曲げ強度の影響

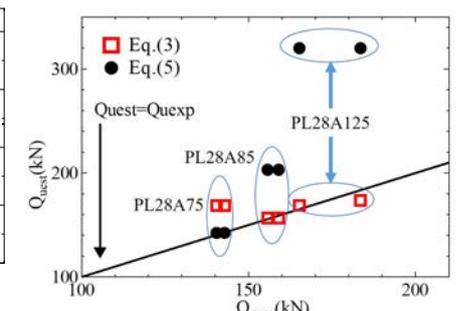


図-5 鋼板幅の異なる試験体の推定値との関係

本研究で用いた押抜きと引抜き試験の結果から、鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力も、ジベル孔面積、鋼繊維補強モルタルの圧縮強度やモルタルブロック寸法とともに増加している。そのため、本研究では既往の提案式に、1) 押抜き試験と引抜き試験の違い、2) モルタル中の鋼繊維混入率、3) ジベル鋼板の降伏の影響も考慮して、鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を評価することとした。

まず、図-3は既往研究の押抜きと引抜き試験体のせん断耐力を  $fix(= \kappa A f_c^{0.65} T^{-0.5})$  で除した値とモルタルブロックの側面積 ( $A_s$ ) の関係を示す。図-3から、同じ側面積で、押抜き試験体のせん断耐力は引抜き試験体に比べて幾分大きい。これは、押抜き試験体の底面と試験ベッドとの支圧力および引抜き試験体上面にある支圧板(4箇所)での支圧力がそれぞれの試験体のジベル孔周辺の拘束効果に及ぼす影響は異なるためと考えられる。そこで、せん断耐力の実験値に対して、式(1)の右辺で考慮している影響要因とその乗数を変えずに、押抜き試験体と引抜き試験体のモルタルブロックの支圧面積 ( $A_b$ ) を加えて重回帰分析を行った結果、以下の関係式を得た。 ( $\kappa_1 = \kappa$ )

$$Q_u = 0.12 \kappa_1 A f_c^{0.65} A_s^{0.43} T^{-0.5} A_b^{0.11} \quad (2)$$

次に、図-4は本研究で実施した鋼繊維混入率の異なる試験体のせん断耐力を  $fix_2(= \kappa_1 A f_c^{0.65} T^{-0.5} A_b^{0.11})$  で除した値とモルタルの曲げ強度 ( $f_b$ ) の関係を示す。図-4から曲げ強度の増加とともに縦軸の値、つまりせん断耐力も増加していることが分かる。これは、前述のように、モルタル中の鋼繊維混入率 ( $r_f$ ) の増加によって、モルタルの曲げ強度の増加とともにジベル鋼板周辺のモルタルの拘束効果も増加したためである。そこで、せん断耐力の実験値に対して式(2)の右辺で考慮している影響要因とその乗数を変えずに、モルタルの曲げ強度 ( $f_b$ ) の影響を係数  $\kappa_2$  として加えると、以下の関係式(3)、(4)を得た。なお、モルタル曲げ強度 ( $f_b$ ) と鋼繊維体積混入率 ( $r_f$ ) との関係も整理した結果、式(4)の  $\kappa_2$  は鋼繊維体積混入率で表すこともできる。

$$Q_u = 0.12 \kappa_1 \kappa_2 A f_c^{0.65} A_s^{0.43} T^{-0.5} A_b^{0.11} \quad (3)$$

$$\kappa_2 = 0.08 f_b^{0.77} = 3.28 r_f^{0.31} \quad (4)$$

さらに、図-5は表-1に示す鋼板幅の異なる試験体のせん断耐力と、式(3)、(5)で算出された推定値との関係を示す。ここで、式(5)は、引抜く力を受けたジベル鋼板の縁辺の全断面(ジベル孔両側の断面)が降伏した時の荷重、つまりジベル鋼板の降伏強度 ( $f_y$ ) とジベル鋼板の縁辺面積 ( $A_y$ ) の積である。また、図-5の黒実線は推定値と実験値が等しい時、つまり  $Q_{quest} = Q_{exp}$  の線である。

$$Q_u = A_y f_y \quad (5)$$

図-5から、ジベル鋼板が顕著に降伏した試験体(PL28A75)では、式(5)による推定値は実験値とほぼ同

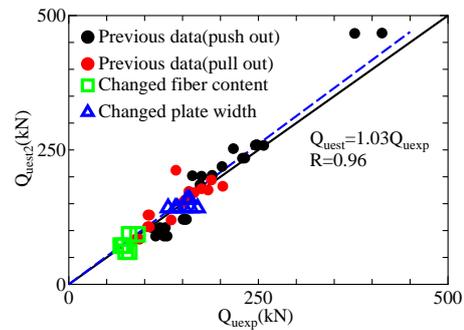


図-6 せん断耐力評価式の推定値と実験値の関係

じであるが、ジベル鋼板が降伏しない試験体(PL28A125)とジベル鋼板の降伏程度が小さい試験体(PL28A85)では、式(3)による推定値の方が実験値に近い。孔あき鋼板ジベルの破壊形式として、前者はジベル鋼板の降伏、後者はジベル孔内のせん断破壊であり、両者のうちの小さいほうの値でせん断耐力が決まると考えられる。つまり、孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は式(3)と式(5)による推定値の小さいほうで評価できると考えられる。

これまでの押抜きと引抜き試験体のせん断耐力の実験値(横軸)、と上記の式(3)あるいは式(5)の推定値(縦軸)との関係を図-6に示す。図-6のデータの近似直線 ( $Q_{quest} = 1.03 Q_{exp}$ ) と相関係数 ( $R=0.96$ ) より、既往研究の提案式をベースに、試験方法の違い、ジベル鋼板の降伏、鋼繊維混入率の影響を考慮することによって、配力鉄筋の無い鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を評価することができると考えられる。なお、本研究の適用範囲の設定が必要であるが、ここではその記載を割愛する。

#### 4. 結論

押抜きと引抜き試験の結果に基づいて、配力鉄筋の無い状態での鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を適切に評価できる式を検討した。その結果、既往研究の提案式にジベル鋼板の降伏、モルタル中の鋼繊維混入率および試験方法の影響も考慮すると、式による推定値と実験値が良好な相関性を有することがわかった。

なお、本研究の一部は科学研究費補助基金(若手研究(B)、課題番号18K13816)の補助を受けて実施した。

#### 参考文献

- 1) 森ら：鋼繊維補強モルタルと孔あき鋼板ジベルを組み合わせた接合構造の基本性状，土木学会関東支部第44回技術研究発表会講演概要集，I-23，2017.3.
- 2) 村山ら：鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に及ぼす種々要因の影響，土木学会関東支部第45回技術研究発表会講演概要集，I-62，2018.3.
- 3) 新村ら：鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルの引抜き試験時のせん断挙動，土木学会関東支部第46回技術研究発表会講演概要集，I-54，2019.3.
- 4) ハイラ：押抜き試験体形状の影響を考慮した孔あき鋼板ジベルのせん断耐力の再評価，土木学会論文集A1構造，地震工学，Vol. 74，No. 1，pp22-27，2018.3