モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力の一考察

宇都宮大学　正会員　○NGUYEN MINH HAI　フェロー会員　中島章典
(株) ディ・シィ　正会員　蝦名貴之　フェロー会員　上平謙二

1. はじめに

孔あき鋼板ジベルは鋼材とコンクリートのずれ止めとして考えられてきたが，コンクリート部材同士のずれ止めとしても適用されてきている．例えば，プレキャスト UFC-PC 複合桁の接合部[1)]やプレキャスト PC 床版同士の接合部でのずれ止めとして超高強度鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルの適用が検討されている．

一方，普通コンクリートを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は多くの研究により検討されており，ジベル孔せん断面のコンクリート骨材配置状況がせん断耐力に影響することも指摘されている[2)−4)]．しかし，粗骨材の無いモルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価にこれらの研究結果を適用できるかは十分に確認されていない．

本研究では，鋼繊維補強モルタルおよび鋼繊維無しのモルタルを用いた孔あき鋼板ジベルの押抜き試験を行い，せん断力ーずれ変位関係の比較により鋼繊維補強の効果を検討した．さらに，既往研究の通常のモルタルを用いた押抜き試験の結果を加えて，せん断耐力評価式との比較などを行った．

2. 押抜き試験

押抜き試験では，径 35mm のジベル孔 1 個を有する鋼板がコンクリートブロックで取り囲まれる試験体を用い，鋼繊維補強モルタルの試験体（以下，FM 試験体と呼ぶ）と鋼繊維無しのモルタルの試験体（以下，M 試験体と呼ぶ）を各 3 体製作し，載荷試験を行った．試験体の寸法は**図–1** に示し，試験体一覧を**表–1** に示す．

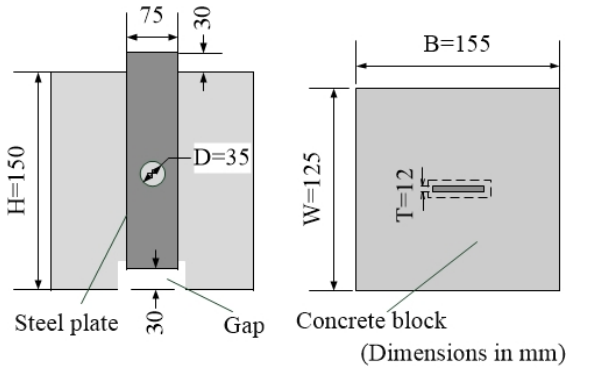
全試験体のジベル鋼板には，板厚 12mm の SM490 鋼板を使用し，その降伏強度と引張強度はそれぞれ 405N/mm^2，569N/mm^2 である．また，モルタルには，新たに開発した早期強度発現性を有するセメントを用い，水セメント比は 14% とした．また，FM 試験体では，鋼繊維の混入率（鋼繊維の質量/総質量）は 9.0% であり，3 日材齢の圧縮強度は 59.1N/mm^2 となっている．さらに，M 試験体のモルタルの 3 日材齢の圧縮強度は 25.5N/mm^2 となっている．

載荷試験において，試験体を圧縮試験機に設置し，試験機の下部加圧盤と試験体底面の間にロードセールを挟み，ジベル鋼板上面から単調増加荷重を載荷した．**図–1** に示すようにコンクリートブロック上面からジベル鋼板の突き出し部分が短く，ジベル鋼板とコンクリートブロック上面の相対変位の計測が困難であったため，試験機の下部加圧盤と上部加圧盤の間に高感度変位計を 2 箇所設置し，この鉛直変位をジベル鋼板とコンクリートブロック間のずれ変位と見なした．なお本研究では，ジベル鋼板表面にグリース塗布などの処理を行っていない．

3. 試験結果と考察

(1) せん断力ーずれ変位関係

押抜き試験で得られたせん断力ーずれ変位関係を**図–2** に示す．縦軸は載荷荷重をせん断力とし，横軸は計測した 2 箇所のずれ変位の平均値である．また，FM 試験体を実線，



図–1 押抜き試験体

表–1 試験体一覧

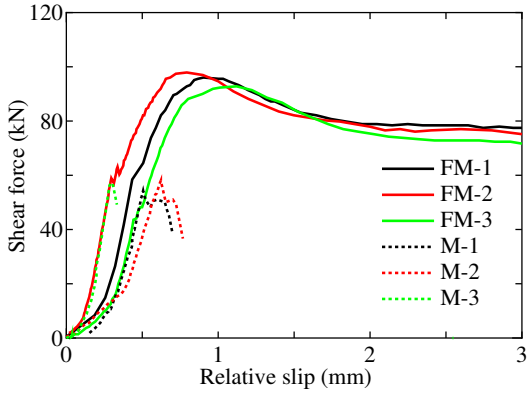
試験体名	モルタル強度 (N/mm^2)	せん断耐力 (kN)	せん断耐力時のずれ変位 (mm)	鋼繊維混入の有無
FM-1	59.1	96	0.90	有
FM-2	59.1	98	0.79	有
FM-3	59.1	93	1.12	有
M-1	25.5	54	0.51	無
M-2	25.5	58	0.47	無
M-3	25.5	56	0.35	無

M 試験体を点線で表し，試験体番号の違いが線の色で区別されている．なお，各試験体のせん断耐力およびせん断耐力時のずれ変位を**表–1** に示す．

図–2 により，同種類の試験体のせん断耐力ーずれ変位関係はばらつきが比較的小さい．これは試験体のジベル孔径が小さく，また粗骨材が無いモルタルを用いたためと考えられる．いずれの試験体においても荷重 18kN 以下，ずれ変位が 0.1〜0.3mm 以下で剛性が若干小さくなっている．これは圧縮試験機による載荷の初期では上部加圧盤がジベル鋼板の上面に接触する場合の不確実さによるものと考えられる．しかし，それ以降では剛性が増加し，鋼繊維補強の有無によらずすべて試験体の剛性がほぼ一致している．

図–2 に実線で示す FM 試験体の関係では，せん断力 50〜60kN 程度で剛性が低下しているが，これは鋼繊維補強モルタルのマトリックスに微細なひび割れが生じたためと推測される．しかし，ジベル孔内およびその周辺の鋼繊維の引張抵抗により，せん断力はさらに増加し，ジベル孔周辺にせん断ひび割れ面が徐々に形成されて，ずれ変位が 0.79〜1.12mm でせん断耐力に至っている．その後，せん断力は徐々に低下して，ずれ変位 3mm でせん断力がせん断耐力の 8 割程度となっている．モルタルの圧縮強度が大きく，さらに鋼繊維の引張抵抗もあるため，載荷試験中に FM-1，FM-2 試験体のコンクリートブロック表面に至るひび割れは生じていない．しかし，FM-3 試験体のせん断耐力付近において，せん断破壊面に垂直方向のコンクリートブロック表面に至るひび割れが生じたが，その理由は不明である．ただし，コンクリートブロックは割裂していないため，せん断力の急激な低下は認められなかった．

Key Words: 鋼コンクリート複合構造，孔あき鋼板ジベル，鋼繊維補強，モルタル，押抜き試験，せん断耐力
〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科　Tel.028-689-6210　Fax.028-689-6210



図–2 せん断力ーずれ変位関係

表–2 モルタルを用いた試験体

文献	D (mm)	f'_c (N/mm^2)	ブロック寸法 (mm)	Q_u (kN) (平均値)
2)	50	53.8	400 × 400 × 400	121
3)	50	53.1	450 × 450 × 500	112
4)	60	57.5	200 × 200 × 200	113
4)	60	45.5	200 × 200 × 200	106

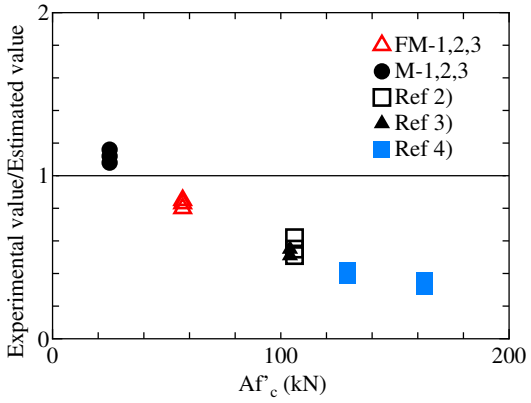
一方，点線で表す M 試験体では，せん断力 50～60kN 程度，ずれ変位 0.35～0.51mm でせん断力が急激に低下し，脆性的な破壊性状を示した．これは鋼繊維の引張抵抗が無く，ジベル孔周辺のモルタルのせん断ひび割れが寸法の小さいコンクリートブロック表面にまで急激に進展したためと考えられる．このことから，鋼繊維補強モルタルでは，ジベル孔内およびその周辺の鋼繊維の引張抵抗が発揮されるため，孔あき鋼板ジベルの脆性的なせん断破壊を抑止できると言える．

図–2 および**表–1** より，FM 試験体と M 試験体のせん断耐力の平均値はそれぞれ 96kN と 56kN となっているのに対して，両者のモルタルの圧縮強度はそれぞれ 59.1N/mm^2 と 25.5N/mm^2 となっている．つまり，鋼繊維の補強により，モルタルの圧縮強度が 2.3 倍増加するのに対して，孔あき鋼板ジベルのせん断耐力の増加は 1.7 倍となっている．これは，一方が鋼繊維の補強があり，また，孔あき鋼板ジベルのせん断耐力はモルタルの圧縮強度のみに依存するわけではないことによるものと考えられる．

(2) モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力

複合構造標準示方書[5]（以下，複合示方書と呼ぶ）に規定される普通コンクリートを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力はコンクリート圧縮強度 (f'_c) とジベル孔面積 (A) に比例するとされている．粗骨材の無いモルタルを用いた場合においても，この関係が成り立つのか検討するために，既往研究[2)−4)]で通常のモルタルを用いた孔あき鋼板ジベルの押抜き試験結果も加えて，複合示方書の耐力式と比較した．

表–2 は参考にした文献での試験体形状とせん断耐力の結果を示しており，図中の D はジベル孔径，f'_c はモルタル圧縮強度，Q_u はせん断耐力の実験値の平均値である．これらの文献では本研究と同じタイプの試験体を用いており，**表–2** のブロック寸法は高さ × 幅 × 奥行となっている．また，本研究の**表–1** と収集した**表–2** の結果をまとめ，**図–3** には，せん断耐力の実験値が耐力式の推定値に対する比と Af'_c の値の関係を示す．



図–3 せん断耐力の実験値と複合示方書の耐力評価式の比較

図–3 により，黒丸で表す本研究の試験体の比は 1.0 に近いが，横軸の Af'_c が大きくなるほど実験値が複合示方書の耐力式に対して小さくなっていることがわかる．これは，複合示方書の耐力式の構築に際しては，粗骨材を有する普通コンクリートの試験体が用いられており，粗骨材の無いモルタルを用いた場合よりも当然せん断耐力が大きいためである．さらに，普通コンクリートの試験体では，ジベル孔面積が大きいほどジベル孔内の粗骨材が多くなり，ジベル孔内の骨材の噛み合わせの寄与が大きくなるため，普通コンクリートを用いた孔あき鋼板ジベルとモルタルを用いたものとのせん断耐力の差異が顕著になると考えられる．

一方，**表–2** では，ジベル孔径 60mm，モルタル圧縮強度 57.5N/mm^2 の試験体[4)]のせん断耐力は，ジベル孔径 50mm，モルタル圧縮強度 53.8N/mm^2 の試験体[2)]の耐力に比べて平均値が小さくなっている．これより，コンクリートブロックの寸法もせん断耐力に影響していると考えられる．

4. まとめ

本研究では，鋼繊維補強モルタルおよび鋼繊維無しのモルタルを用いた孔あき鋼板ジベルの押抜き試験を行い，鋼繊維補強の効果を検討した．その結果，鋼繊維補強によりジベル孔内およびその周辺で鋼繊維の引張抵抗が発揮されるため，孔あき鋼板ジベルのせん断破壊は脆性的とならないことを確認した．これにより，鋼繊維補強モルタルを用いる孔あき鋼板ジベルは，靭性が高く疲労に対して有利であると推測される．

一方，既往研究の通常のモルタルを用いた押抜き試験の結果を加えて，せん断耐力評価式との比較などを行った．その結果，粗骨材が無いことによりジベル孔せん断面の摩擦抵抗が小さいために，通常のコンクリートを用いた孔あき鋼板ジベルの耐力を評価する複合示方書の耐力式による推定値よりも，ジベル孔径が大きくなるほど耐力は小さくなることがわかった．

参考文献

1) 河野ら：UFC-PC 複合桁に対する PBL 接合のせん断挙動，太平洋セメント研究報告，第 169 号，pp.27-37，2015.
2) 中島ら：単純な押抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価，土木学会論文集（構造・地震工学），Vol.68，No.2，pp.495-508，2012.3.
3) 中島ら：貫通鉄筋の無い孔あき鋼板ジベルのせん断抵抗機構とせん断耐力評価，土木学会論文集（構造・地震工学），Vol.70，No.5，pp.II_20-II_30，2014.5.
4) 藤山ら：孔内粗骨材のせん断抵抗に着目した孔あき鋼板ジベル耐荷機構の基礎的研究，第 11 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，No.1，pp.1-8，2015.11.
5) 土木学会：複合構造標準示方書 [2014 年制定]・共通編，2015.5.