

鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルの せん断抵抗に着目した押抜き試験

宇都宮大学 学生員
フェロー会員

○ 水取未流
中島章典

村山聖 正会員 NGUYEN MINH HAI
正会員 藤倉修一

1. はじめに

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接合構造に孔あき鋼板ジベルを用いた接合方法が提案されている^{1),2)}。これらの接合構造では接合部の寸法が制限される場合が多く、径が大きいジベル孔やジベル孔周辺の補強鉄筋などを配置できない。そのため、接合部の耐力確保の観点から、孔あき鋼板ジベルに高強度を有する鋼繊維補強モルタルを併用することは合理的であり、モルタルに混入する鋼繊維はジベル孔周辺の拘束効果への寄与およびせん断耐力後のせん断力の急な低下を防ぐ効果も期待される。しかし、これまで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抵抗を系統的に検討した研究はほとんど無い。

本研究では、鋼繊維補強モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルの孔径、モルタルの材齢、モルタルブロックの寸法をパラメータとした押抜き試験を実施し、これらの影響要因が孔あき鋼板ジベルのせん断耐力などに及ぼす影響を調べた。

2. 押抜き試験

上記のような接合構造に配置する孔あき鋼板ジベルを想定し、本研究の押抜き試験では、図-1に示すジベル孔1個を有する鋼板がモルタルブロックで取り囲まれる試験体を用いた。試験体の一覧を表-1に示し、孔径、モルタルの材齢、モルタルブロックの寸法を変えた合計25体の試験体を用いた。表-1中の試験体名はDの後が孔径、Pの後がモルタルの材齢である。また、各試験体のモルタルブロックの寸法は表-1に示しているが、S、M、Lの3種類の寸法があり、それぞれの種類の試験体名にアルファベットのS、M、Lをつけている。

全試験体のジベル鋼板には、板厚12mmのSS400鋼板を使用し、その降伏強度は297N/mm²である。また、モルタルには、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13%の2種類があり、鋼繊維の混入率(鋼繊維の質量/総質量)は9.0%である。この配合は鋼繊維補強モルタルの強度発現性と打設時の充填性を考慮し、調整したものである。なお、鋼繊維補強モルタルの同材齢の試験体の圧縮強度にはばらつきがあるものの、1日材齢の圧縮強度は60N/mm²程度、3日材齢では75~100N/mm²程度、28日材齢では90N/mm²程度以上である。

押抜き試験において、油圧ジャッキを有するフレーム載荷試験機を用いてジベル鋼板上部から荷重を単調に載荷した。試験体の底面には砂を敷き、鋼板の垂直を保たせた。また、ジベル鋼板とモルタルブロック上面の間のずれ変位を計測するために、図-1のようにジベル鋼板上部にアングル材を固定しこれに赤矢印で示すような変位計(CDP)を取り付け、モルタルブロック上面に当てて計測した。

3. 試験結果と考察

(1) せん断力-ずれ変位関係

試験から得られたせん断力-ずれ変位関係を 図-2~図-4に示す。縦軸はせん断力、横軸はずれ変位である。図-2~

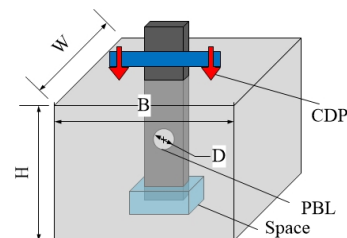


図-1 押抜き試験体

表-1 試験体一覧

試験体名	試験体寸法 (mm)				ジベル 孔径 (mm)	材齢 (日)	試験 体数 (体)
	H	B	W	種類			
D35P1S	150	155	125	S	35	1	3
D35P3S	150	155	125	S	35	3	3
D35P28S	150	155	125	S	35	28	3
D35P3M	150	300	200	M	35	3	3
D35P28M	150	300	200	M	35	28	3
D45P28M	150	340	200	M	45	28	2
D35P3L	200	300	300	L	35	3	3
D35P28L	200	300	300	L	35	28	3
D45P28L	200	340	300	L	45	28	2

図-4には、それぞれ表-1に示す試験体名にS、M、Lのアルファベットをつけた試験体の関係を示し、1、3、28日材齢の試験体をそれぞれ緑、黒、赤線で孔径45mmの試験体を青線で示している。なお、これらの図にはずれ変位が3mmに至っていない関係もあるが、これは試験体の載荷時にせん断力の急な低下により載荷を中止したためである。また、図-2の1つの赤線のずれ変位が負の値となっているが、これはCDPの設置が適切でなかったことが原因である。

図-2と図-3におけるせん断力が40~90kN程度、図-4におけるせん断力が100~160kN程度の範囲では、ずれ変位は小さく、0.1mm程度以下である。その後、せん断力の増加とともにせん断力-ずれ変位関係の傾きが徐々に低下し、ずれ変位0.4~1.4mmの時にせん断耐力に至る。せん断力の初期段階では、載荷荷重に対してジベル孔内の鋼繊維補強モルタルの支圧力による抵抗もあるが、ジベル鋼板と鋼繊維補強モルタルとの付着力が働いたためずれ変位が小さいと考えられる。この付着力はジベル鋼板を囲むモルタルブロックの寸法の影響を受けるため、ブロック寸法の種類Lの試験体と他の試験体とで剛性が低下し始めたせん断力に差異が生じたと推測される。

図-2~図-4から、モルタルブロックの寸法、モルタルの材齢(圧縮強度)および孔径が大きい試験体の方がせん断耐力の平均値は大きいことが認められる。しかし、図-3と図-4の赤線および青線の比較より、種類Lの試験体のせん断耐力は種類Mの試験体より大きい、その差異は孔径によって異なっている。このようなせん断耐力に及ぼす各要因の影響は後述するが、種類Lで孔径35mmの試験体や種類Mで孔径45mmの試験体では、せん断耐力後のせん断力が急に低下したものもある。しかし、多くの試験体では

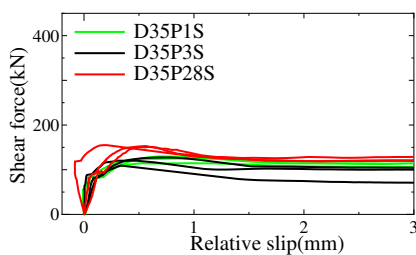


図-2 セン断力-ずれ変位関係 (S)

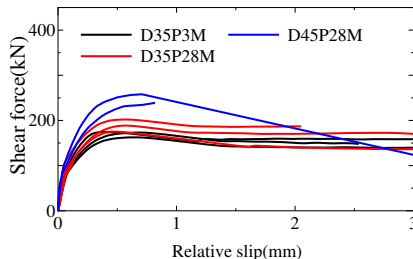


図-3 セン断力-ずれ変位関係 (M)

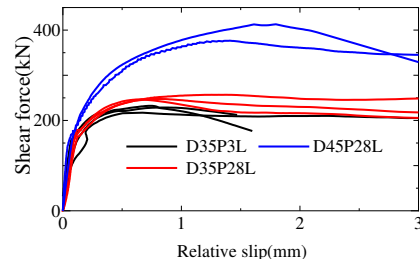


図-4 セン断力-ずれ変位関係 (L)

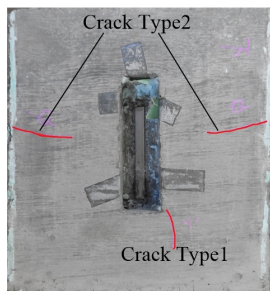


図-5 試験体 D45P28L-2 ひび割れ状況

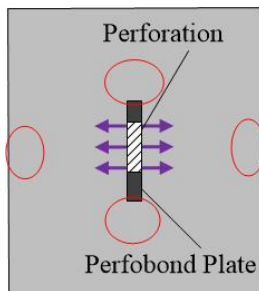


図-6 モルタルブロックに作用する押し広げ力

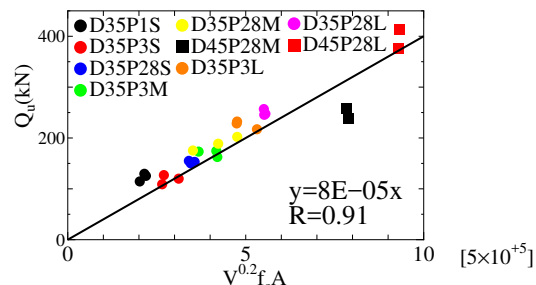


図-7 セン断耐力と各影響要因との関係

せん断力が緩やかに低下しており、ずれ変位 3mm の時のせん断力はせん断耐力の 90% 程度である。この結果から、孔あき鋼板ジベルに鋼繊維補強モルタルを用いることによって、せん断耐力後のせん断力の急な低下を防ぐ効果が認められる。しかし、種類 M で孔径 45mm の試験体のようにモルタルブロック寸法に対して孔径が比較的大きい試験体ではせん断力が急に低下する可能性もあることが分かる。

(2) 破壊状況

実験中と実験終了時の観察により、種類 L で孔径 35mm の試験体では、1 体を除いてブロックの表面にひび割れがなく、それ以外の試験体の多くはせん断耐力付近でひび割れが生じた。例として試験体 D45P28L-2 のブロック底面のひび割れ状況を図-5 に示す。これらのひび割れは、ジベル鋼板の縁端からジベル鋼板に平行方向あるいは斜め方向に進展したものと、モルタルブロックの側面の表面からジベル鋼板に向かって進展したものの 2 種類である。このようなひび割れは、図-6 に示すようにせん断力の増加によってジベル孔位置で生じる押し広げ力が矢印のようにジベル孔の左右に作用し、赤楕円形で囲まれる部分に引張応力を生じさせるため、その部分からひび割れが発生し、進展したものと考えられる。また、モルタルブロック寸法が大きいほど押し広げ力に対する抵抗力は大きいいため、種類 L で孔径 35mm の試験体の多くはブロック表面にひび割れが生じなかった。一方、せん断力の大きさは押し広げ力を支配する 1 つの要因であり、せん断耐力が大きい試験体では押し広げ力が大きいいため、種類 L で孔径 45mm の試験体において、ブロック表面にひび割れが確認されたと考えられる。

(3) セン断耐力に及ぼす各要因の影響

前述のように試験体のモルタルブロック寸法が大きいほど、孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は大きい。これは、モルタルブロックの大きさがジベル孔周辺の拘束状態に影響し、結果的にせん断耐力に影響したからと考えられる。しかし、このような影響の程度は孔径や鋼繊維補強モルタルの圧縮強度によって異なっている。そこで、モルタルブロック寸法以外のパラメータが同程度である試験体の実験データを用い、せん断耐力 Q_u とモルタルブロックの体積 V に

対する累乗近似型の回帰分析を行った結果、せん断耐力とモルタルブロック体積の 0.2 乗の値との相関は極めて高いことがわかった。また、モルタルの圧縮強度以外のパラメータが同じ試験体のデータを用い、せん断耐力 Q_u とモルタル圧縮強度 f_c に対する回帰分析を行った結果、せん断耐力とモルタル圧縮強度そのものとの相関が比較的高い結果となった。さらに、孔面積以外のパラメータが同じ試験体のデータを用い、せん断耐力 Q_u と孔面積 A に対する単回帰分析も行った結果、両者の相関も高い結果となった。

上記の結果に基づき、縦軸をせん断耐力 Q_u 、横軸を $V_b^{0.2} f_c A$ の値とした関係を図-7 に示す。黒線は実験データの近似直線であり、近似直線式と相関係数 R も図中に示している。図から相関係数 $R=0.91$ となっていることから、図-7 に示した関係は高い相関性があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、狭隘な接合部への適用を想定し、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の要因の影響を調べた。その結果、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、孔径、鋼繊維補強モルタルの圧縮強度およびジベル鋼板を囲む鋼繊維モルタルブロック寸法とともに増加することが分かった。また、これらの要因の相対関係を考慮することで、せん断耐力を評価することは可能であると考えられる。しかし、本研究の実験データは必ずしも十分ではないため、せん断耐力評価式の構築にはさらにデータ蓄積が必要と考えられる。

謝辞

本実験の実施にあたっては、(株) デイ・シイから鋼繊維補強モルタルのご提供およびモルタル打設時のご助言を頂いた。ここに記して厚くお礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 蝦名ら：プレキャスト PC 床版同士の新たな接合方法の開発、土木学会第 71 回年次学術講演会、CS3-041、2016.9.
- 2) 青木ら：プレキャスト壁高欄の新たな接合工法の開発、第 9 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム、No.39、pp.313-320、2011.