

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

宇都宮大学 学生員 ○ 新村 遼 正会員 Nguyen Minh Hai フェロー会員 中島章典
学生員 水取未流 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おり^{1),2)}、この方法により狭隘な接合部内のループ筋などの鉄筋配置の省略や接合部寸法の縮小が期待されている。しかし、この接合方法ではジベル鋼板周辺に補強鉄筋をできるだけ配置しないため、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は有効であり、モルタル中の鋼繊維はジベル孔周辺の拘束効果に寄与することによって孔あき鋼板ジベルのせん断耐力の向上やせん断耐力後のせん断力の急な低下を防ぐ効果が期待される。

これまで著者らは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挙動に着目して押抜き試験を実施してきた³⁾。しかし、例えばプレキャスト床版同士の接合構造などでは曲げによって孔あき鋼板ジベルが引抜き方向のせん断力を受ける²⁾ため、押抜き試験時のせん断挙動と異なる可能性がある。

そこで本研究では、鋼繊維補強モルタル（以下、モルタルと呼ぶ）を用いた孔あき鋼板ジベルの引抜き試験を実施し、せん断耐力やせん断力-ずれ変位関係を調べた。また、これらの結果と既往研究の押抜き試験結果と比較し、試験方法による孔あき鋼板ジベルのせん断挙動の違いを検討した。

2. 引抜き試験

引抜き試験では、図-1の左側に示すように1つの孔を有するジベル鋼板がモルタルに取り囲まれる形状の試験体を用いた。引抜き試験体の一覧を表-1に示す。既往研究の押抜き試験結果³⁾から、ジベル鋼板を囲むモルタルブロック寸法はせん断耐力などに大きく影響することがわかった。そこで、本研究においても、その影響を調べるためにモルタルブロックの寸法を試験パラメータとした。また、ジベル鋼板に引抜き力が作用する場合では、ジベル孔の両側の縁辺に引張応力が大きく生じる。その引張応力が鋼板の降伏応力に達する場合と達しない場合の孔あき鋼板ジベルのせん断挙動の違いを調べるために、引抜き試験ではジベル鋼板の幅も試験パラメータとした。さらに、引抜き試験時のモルタルの材齢も試験パラメータとし、材齢3日と28日以上²⁾の2種類に設定した。なお、表-1の試験体名では、P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を表している。また、試験体のモルタルブロックの高さ、幅、奥行きを変えた6種類を試験体名の最後につけたS1～S6で区別している。

全ての試験体のジベル鋼板はSS400の材質を有し、板厚は12mmであり、ジベル孔径は全て35mmである。モルタルには早期強度発現性の高いリペアメントを使用し、水セメント比は13%、鋼繊維（直径0.2mm、長さ9mm）の質量混入率は9%である。材齢28日以上のモルタルの圧縮強度は90.1～102.9N/mm²であり、材齢3日のモルタルの圧縮強度は65.5N/mm²であった。

引抜き試験においては、図-1の左側に示すように4本の全ネジを用いてモルタルブロックを試験ベッドに固定した。また、図-1に示していないがジベル鋼板の上部は4つの高力ボルトを通してジャッキに固定し、その状態でジベル鋼

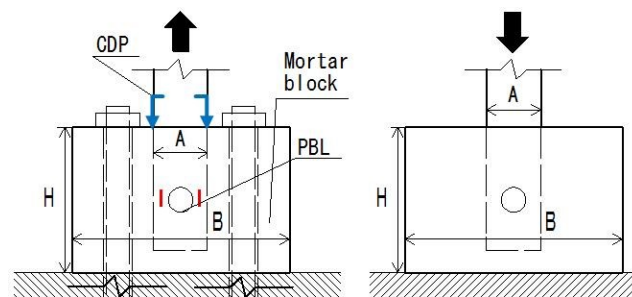


図-1 引抜き試験体と押抜き試験体

表-1 試験体一覧

試験体名	ブロック寸法 (mm)			鋼板幅 (mm)	鋼繊維補強モルタル		体数 (体)
	高さ	幅	奥行		圧縮強度 (N/mm ²)	材齢 (日)	
P28A75-S1	150	300	200	75	100.4	28日以上	3
P28A75-S2	200	300	200	75	102.9	28日以上	3
P28A125-S3	150	350	300	125	102.9	28日以上	3
P28A125-S4	200	350	300	125	95.1	28日以上	3
P3A125-S5	150	200	300	125	65.5	3日	2
P3A125-S6	150	350	200	125	65.5	3日	2

板の上部に引抜き力を加えた。さらに、ジベル鋼板に固定された4つの高感度変位計（CDP）をモルタルブロックの上面に当て、ジベル鋼板とモルタルブロックのずれ変位を計測した。ジベル鋼板のジベル孔の両側の縁辺に生じるひずみを計測するために、図-1の左側の赤四角の箇所の対面にひずみゲージを貼付した。

3. 引抜き試験の結果と考察

(1) せん断力-ずれ変位関係と破壊状態

実験から得られたせん断力-ずれ変位関係を図-2と図-3に示す。図-2の実線と図-3の破線はモルタル材齢28日以上、図-2の点線はモルタル材齢3日の試験体の関係を示し、図-2と図-3はそれぞれジベル鋼板幅が125mmと75mmの試験体の関係を示す。

図-2と図-3の全ての関係では、せん断力が40kN程度まで鋼板とモルタルの付着の影響でずれ変位はほとんど生じていない。その後せん断力の増加とともにずれ変位が増加し、ずれ変位が0.5～0.8mmでせん断力はせん断耐力に達した。その後せん断力が緩やかに低下し、ずれ変位が3mmの時のせん断力はせん断耐力の70～90%程度であった。また、ほとんどの試験体ではせん断耐力付近でモルタルブロック表面に図-3の中にある図の赤線で表すようなひび割れが確認された。このようなひび割れは既往研究の押抜き試験体のモルタルブロックにも生じており³⁾、主に孔あき鋼板ジベルのせん断力の増加に伴いジベル孔で生じた押し広げ力（図中の緑の矢印）によるものと考えられる。しかし、上記のひび割れが生じた後にもモルタル中の鋼繊維がジベル孔周辺の拘束効果にある程度寄与するため、せん断耐力後のせん断力は急激に低下しなかったと考えられる。

一方、図-2の赤実線と黒実線、および図-3の赤破線と黒破線で示された試験体は、それぞれのジベル鋼板幅とモルタルの圧縮強度が同程度のものであり、赤線の試験体の

Key Words: 引抜き試験, 鋼繊維補強モルタル, 孔あき鋼板ジベル, 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

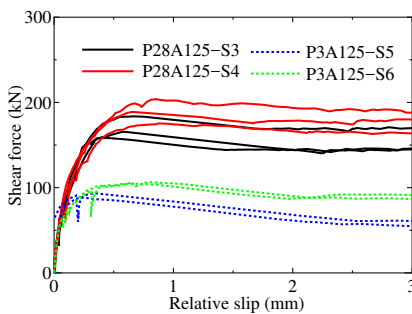


図-2 セン断力-ずれ変位関係 (A=125mm)

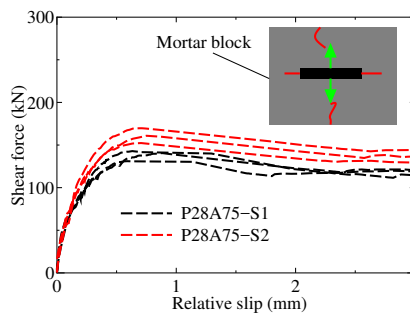


図-3 セン断力-ずれ変位関係 (A=75mm)

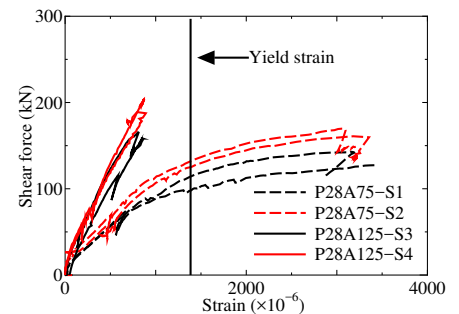


図-4 セン断力-鋼板ひずみ関係

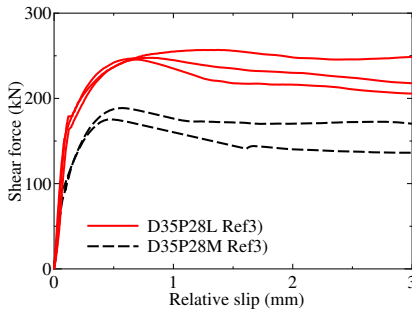


図-5 押抜き試験体のせん断力-ずれ変位関係

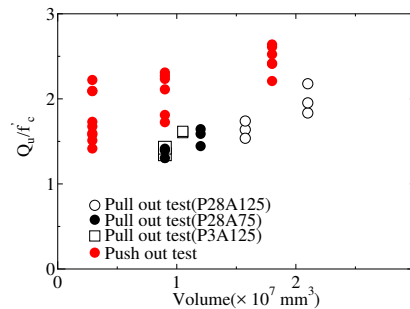


図-6 セン断耐力-ブロック体積関係

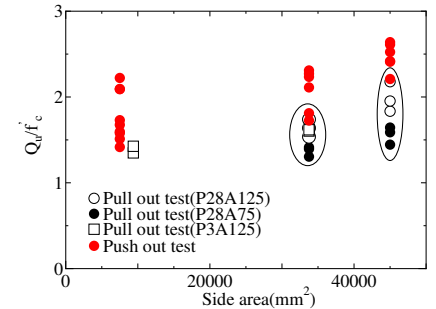


図-7 セン断耐力-ブロック側面積関係

モルタルブロック寸法（体積）は黒線のものより若干大きい。つまり、図-2と図-3から引抜き試験においてもモルタルブロック寸法（体積）が大きい試験体はそのせん断耐力が大きいことがわかる。

また、図-2に示す緑点線の試験体は図-3の黒破線の試験体に比べて、ジベル鋼板幅とモルタルブロックの体積が大きい、モルタルの圧縮強度が小さいため、せん断耐力も小さくなっている。さらに、図-2の黒実線と赤実線の試験体はそれぞれ図-3の黒破線と赤破線の試験体に比べて、モルタルの圧縮強度が同程度であるが、後者のモルタルブロック体積が小さく、ジベル鋼板幅も小さい。したがって、これらの試験体のせん断耐力の差異はジベル鋼板幅とモルタルブロックの体積の両方の影響によるものである。

図-4はモルタル材齢が28日以上試験体のせん断力と図-1の左側に示すジベル鋼板の対面に貼付したひずみゲージの計測値の平均値との関係を示す。図-4での実線は鋼板幅が125mm、破線は鋼板幅が75mmの試験体の関係である。図-4から、実線がほぼ直線となっているが、破線は非線形挙動となっており、ジベル鋼板のひずみが降伏ひずみに達した後のせん断力の増加は小さいことがわかる。このことから、引抜き試験では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していると考えられるが、その影響程度を明確するために実験データの蓄積が必要である。

4. 押抜き試験の結果との比較

既往研究で実施した押抜き試験の概要を図-1の右側に示し、その実験から得られたせん断力-ずれ変位関係の一例を図-5に示す。図中の赤実線と黒破線で示す試験体はそれぞれ図-2の赤実線と図-3の黒破線の試験体のジベル孔径、モルタルブロックの体積、モルタル圧縮強度と同程度である。これらの図から、押抜き試験体と引抜き試験体は類似なせん断力-ずれ変位関係を示しているが、前者のせん断耐力は後者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（4か所）にある支圧板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っているためと推測される。

さらに、図-6と図-7の縦軸は押抜きと引抜き試験体のせん断耐力をモルタル圧縮強度で割った値、横軸はそれぞれ試験体のモルタルブロックの体積と側面積である。図中の赤丸は押抜き試験体、黒丸、白塗黒丸、白塗黒四角は引抜き試験体の結果である。これらの図から、試験体のモルタル圧縮強度、モルタルブロックの体積あるいは側面積が等しい場合では、引抜き試験体のせん断耐力が押抜き試験体より平均的に20～30%小さいと言える。また、図-7では同じモルタルブロックの側面積に対して、黒線で囲っているマークの縦軸の値に比較的大きい差がある。これは、図-6に示すようにこれらの試験体のモルタルブロックの体積の違いの影響に加えて、ジベル鋼板幅の違いの影響も受けるためと考えられるが、それぞれの影響を明確にするためには前述のようにさらにデータの蓄積が必要である。

5. まとめ

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引抜き試験を実施し、既往研究の押抜き試験の結果と比較した。その結果、引抜き試験時の孔あき鋼板ジベルのせん断力-ずれ変位関係は押抜き試験時の関係と類似なものとなったが、前者のせん断耐力は後者より平均的に20～30%小さいことがわかった。また、引抜き試験体のモルタルブロック寸法、ジベル鋼板の幅とモルタル圧縮強度が孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に影響することが確認された。

なお、本研究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。また、株式会社ディ・シー様から、鋼繊維補強モルタルのご提供とモルタル打設時のご助言を頂いた。ここで、関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 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・合成構造に関するシンポジウム，No.39，pp.313-320，2011.11.
- 2) 広瀬ら：孔あき鋼板ジベルを用いたプレキャストPC床版の接合構造に関する実験的研究，第12回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集，No.13，pp.1-8，2017.11.
- 3) 水取ら：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抵抗に着目した押抜き試験，土木学会第73回年次学術講演会講演概要集，CS6-17，2018.9.