

軽量鋼材によるユニットハウスの柱梁接合部の耐震性能を検証する実験

外山 寛太郎

1. はじめに

折畳み可能なユニットハウスの耐震性能を検証する研究^{1,2)}の一環として、その柱梁接合部の繰返し載荷実験を実施した。研究対象のユニットハウスは、軽量鋼材で構成され、壁パネルの受け材の役割も兼ねる梁部材が、特異な開断面をもち、柱に偏心接合されている。短辺方向の柱梁接合部は溶接されるが、長辺方向の柱梁接合部は、柱を折畳み可能にするために、高力ボルト摩擦接合されている。梁形状や接合方法が異なる4種類の接合部を検証することを、研究目的に掲げた。本報では、主に、長辺方向の柱梁接合部に関する実験結果を述べる。

2. 実験計画

図1に、試験体の形状と梁断面形状を示す。ユニットハウスの主架構は、角形鋼管 \square -100 \times 100 \times 4.5 (STKR400)の柱と、3.2または4.5mmの薄鋼板 (SGH400)を冷間形成した梁材で構成された。試験体は、接合部まわりを取り出したL字形部分架構で、部材長は断面せいの4倍とした。長辺上梁LT、長辺下梁LB、短辺上梁ST、短辺下梁SBの4種類について、それぞれ5体ずつ、計20体の試験体を製作した。長辺方向は、ガセットプレートを経た高力ボルト摩擦接合、短辺方向は、溶接接合であった。高力ボルト摩擦接合では、摩擦面を目荒らし処理してジンクリッチ・ペンキが塗られ、高力ボルトS10T-M16を試験体LTでは3本、試験体LBでは4本使用した。

図2に、試験体を設置した実験装置を示す。試験体の柱側をピン支持、梁側をローラー支持した。柱端・梁端のエンドプレートと柱頂部を面外補剛した。ロードセルで荷重を測定した。支点間変位と、高力ボルト摩擦接合における

ブラケット板と梁の滑り回転角を測定し、支点間変位から算定した変形角に基づいて、準静的載荷を制御した。試験体LTとLBについて、5体ずつ用意した試験体から、単調引切り載荷、単調押切り載荷、繰返し載荷を少なくとも1体ずつ実施した。繰返し載荷は、荷重制御で設計荷重の振幅50、100%を1回ずつ繰返ししたあと、変形角で振幅0.015、0.02、0.025、0.03、0.04、0.05 radを1回ずつ繰返し、最後に引切りまたは押切りを行った。

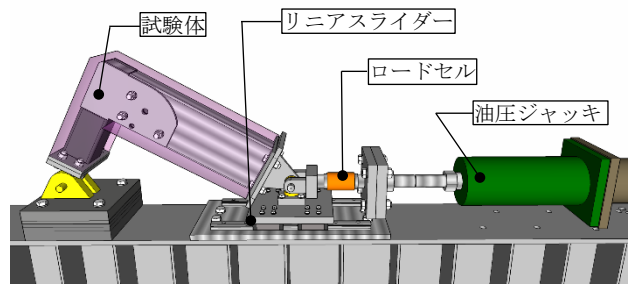


図2 実験装置

3. 実験結果

図3に、引切り載荷試験体LT1について測定した、荷重と変形角の関係と、荷重とすべり回転角の関係を示す。荷重34.6 kNで高力ボルト摩擦接合が滑ったが、そののち荷重が再び上昇し、0.11 radで最大耐力73.1 kNを記録した。滑り回転角が、荷重が再上昇した過程でほとんど増加しなかったのは、力の伝達機構が、摩擦抵抗から支圧抵抗に移行した結果だと考えられる。最大耐力を記録したあと、ブラケット板と柱を接合した隅肉溶接に亀裂を生じ、その

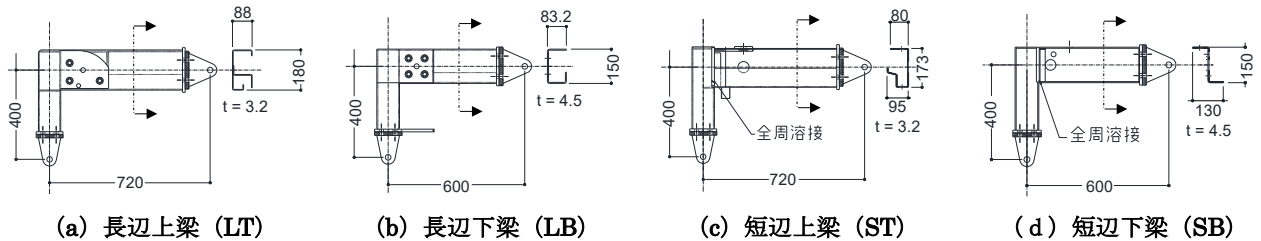


図1 試験体形状 [寸法: mm]

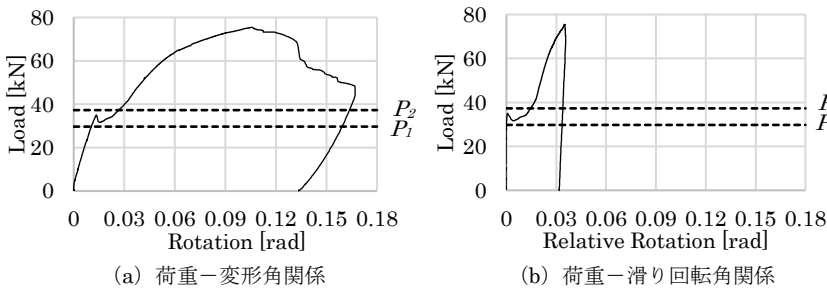


図3 引切り載荷結果 (LT1)

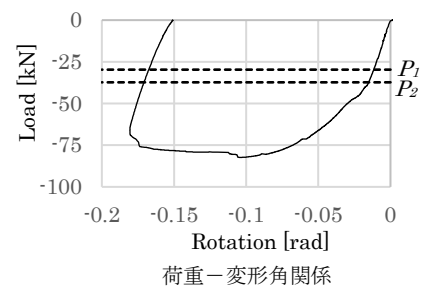


図4 押切り載荷結果 (LT2)

Experimental Validation of Beam-to-Column Connections in a Unit House System Comprising Light-Gauge Steel Members

Kantaro TOYAMA

亀裂が進展するにしたがって、耐力が低下した。

図4に、押切り載荷試験体 LT2 について測定した、荷重と変形角の関係を示す。試験体 LT1 と異なって、接合部の滑り過程が明瞭でなく、最終的に、梁が柱面を押し込む変形が進行して耐力低下を来した。最大耐力は、試験体 LT1 より 1.3 割高い 82.4 kN であった。

図5に、繰返し載荷試験体 LT3 について測定した、荷重と変形角の関係と、荷重と滑り回転角の関係を示す。振幅 0.015 rad の圧縮側で、荷重 32.2 kN で高力ボルト摩擦接合が初めて滑った。その後の繰返し載荷で、正負交替で滑るたびに滑り耐力が低下し、正負で合計 5 回滑ったあと、引張・圧縮側とも滑り耐力が 17.5 kN に収束した。

表1に、実験結果を整理する。試験体 ST は、引切り載荷でねじれが先行することが確認されており¹⁾、実験手法を再検討する必要がある。試験体 SB は、現時点で未実施である。試験体 LT も LB も、初期滑り耐力は 27.9 kN から 39.0 kN で、平均値は変わらなかったが、高力ボルトの本数が少なく、その配置も変則的な LT の方がばらついた。最大耐力は、試験体 LT も LB も、押切り載荷のほうが引切り載荷に比べて大きかった。破壊モードは、試験体 LT と LB で変わらなかった。

4. 考察

表1に示すように、ユニットハウスの柱梁接合部は、変形角 0.02 rad 内外で滑り、0.10 rad 近くで最大耐力を発揮した。2019年に実施した振動台実験²⁾によると、二次設計の想定に倍に相当する地震動でも、検証するユニットハウスの最大層変形角は 0.03 rad 程度であった。したがって、ユニットハウスが極めて稀な地震動を受けたとき、長辺方向の柱梁接合部は繰返し滑るが、変形能力に非常に大きな余裕があるので、地震抵抗能力を喪失する可能性は、非常に低いと考えられる。設計で陽に考慮されないが、接合部が滑ったあと、接合部の荷重抵抗機構が支圧に移行し、部材が降伏し局部変形しつつ、安定的に荷重に抵抗できるために、ユニットハウスの耐震余裕度は高い。

図3から5に、高力ボルト摩擦接合の滑り耐力の計算値

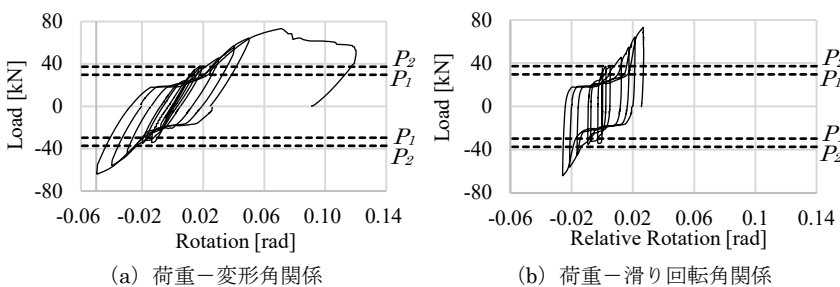


図5 繰返し載荷結果 (LT3)

を示す。計算に際し、日本建築学会『鋼構造許容応力度設計規準³⁾』に基づいて、M16 高力ボルトの標準設計張力を 117kN、摩擦係数を 0.45 とした。二通りの算定方法を用い、一つ目は、回転中心を高力ボルト群の重心に置いた P_1 、二つ目は、全ての高力ボルトが等しい抵抗力を発揮すると仮定して回転中心を求めた、 P_2 であった。2つの計算値に2割の差があり、この差は、実測値のばらつきと同程度に大きかった。

図6に、試験体 LT3 の載荷後に撮影した、梁側のボルト孔を示す。塗料の剥落と、高力ボルトの支圧による孔の変形を確認できる。繰返し載荷によって、滑り係数が低下し、高力ボルトの張力が抜けたことが、滑り耐力の低下につながった可能性がある。

5. まとめ

軽量鋼材によるユニットハウスから取り出した、長辺上梁、長辺下梁の柱梁接合部について、準静的載荷実験を実施し、下記の知見を得た。

- 1) ユニットハウスの長辺方向の柱梁接合部は、設計での想定を遥かに超える変形性能を有している。
- 2) 極めて稀な地震動を受けたとき、柱梁接合部が、繰返し滑り、その過程で滑り耐力は徐々に小さくなると考えられる。しかし、滑ったあとも、接合部の荷重抵抗機構が摩擦から支圧に移行することで、極めて安定的に荷重支持能力を保持する。

今後は、試験体 ST と SB の実験も行い、振動台実験の結果と合わせて、より総合的にユニットハウスの耐震性能を検証する。

参考文献

- 1) 青柳克弘：種々の鋼構造における柱梁接合部の耐震性能、北海道大学大学院工学院修士論文、2020
- 2) 松田良介：振動台実験によるユニットハウスの耐震性能の検証、北海道大学工学部学士論文、2020
- 3) 日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準、2019

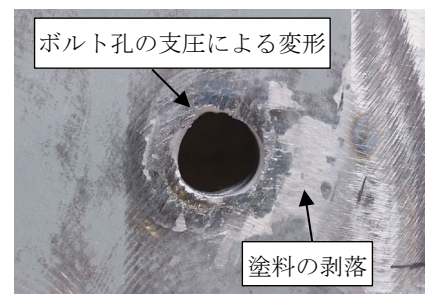


図6 載荷後のボルト孔付近の様子

表1 実験結果一覧

試験体名	載荷方法	変形角 [rad]		滑り耐力 [kN]			最大耐力 [kN]	破壊モード
		初期滑り	最大耐力	計算値	+	-		
LT1	引切り	0.014	0.11	$P_1 = 29.7$	34.6	-	75.5	隅肉溶接に亀裂進展
LT2	押切り	-0.017	-0.11	$P_2 = 37.3$	-	-39.0	-82.4	柱の押込み変形
LT3	繰返し+引切り	-0.009	0.072		27.9	-32.2	73.1	隅肉溶接に亀裂進展
LB1	引切り	0.025	0.085		38.2	-	60.1	隅肉溶接に亀裂進展
LB3	繰返し+引切り	0.016	0.069	$P_1 = 33.4$	35.4	-32.8	62.5	隅肉溶接に亀裂進展
LB4	押切り	-0.016	-0.11	$P_2 = 38.2$	-	-38.6	-69.2	柱の押込み変形
LB5	繰返し+押切り	-0.010	-0.12		37.4	-31.6	-74.0	柱の押込み変形