

スプリットティ形式半剛接合部の剛性と耐力評価

—その1 スプリットティ引張実験—

正会員 ○加藤征宏*
 正会員 小野徹郎**
 正会員 藤田健一***
 正会員 李英姫****

スプリットティ 半剛接合部 初期剛性
 耐力

1. 序

これまでスプリットティ形式の高力ボルト接合部の力学的特性については、すでに多くの研究が行われてきた^{1,2)}。しかし、これらの研究は主に終局耐力を求めることに着目しており、接合部の剛性や変形状については十分に検討されていない。そこで、本研究ではスプリットティ半剛接合部の力学特性を明らかにするために、スプリットティ接合部引張実験とスプリットティ柱梁接合部の曲げ実験を行い、初期剛性、降伏耐力、最大耐力について検討する。またスプリットティ柱梁接合部の荷重-変位骨格曲線関係をモデル化する方法を提案する。

2. 実験計画及び荷重方法

本実験では、図1に示すようにスプリットティフランジの間に40mmの座金を介在して組み合わせたT-T形式で繰り返し引張実験を行った。スプリットティはH-600×300×12×19の圧延鋼より切り出したものである。実験パラメータは高力ボルト距離 bl 、ティフランジ厚 t と高力ボルト径とし、試験体鋼材はSN400Bである。高力ボルトは(S10T)M24, M16の2種類のトルシア型で、トルクコントロール法によってその締め付けを行った。試験体一覧を表1に、鋼材の機械的性質を表2に示す。

荷重はMTS試験機(最大容量500kN)を用いて、0.15、0.3、0.6、1.0、1.5、3.0、4.5、6.0、8.0、12.0、15.0、18.0、21.0mmの変位制御により繰り返し荷重後、接合部破断まで荷重を行った。変位は図1に示すように両スプリットティ間の開きを変位計で測定したものである。

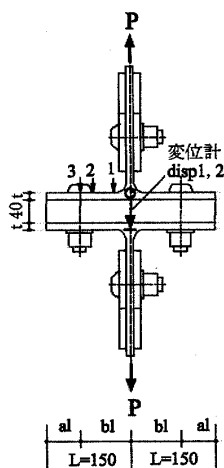


図1 試験体形状

表1 試験体一覧

試験体名	板厚 t (mm)	ボルト距離 bl (mm)	ボルト径 (mm)
AP-12	12	110	M24
AP-16	16		
AP-19	19		
AbP-12	12	110	M16
AbP-16	16		
BP-12	12	90	M24
BP-16	16		
BP-19	19		
CP-12	12	70	M24
CP-16	16		
CP-19	19		

3. 実験結果

表3に引張実験結果と計算値を示す。ここでの耐力の計算値は図2に示す「田中-田中式」³⁾で求めたものである。崩壊モードは塑性スプリットティを対象としていることから計算で最小値となるMode4とする。接合部の力学特性は以下のように定義を行った。図3の $P-\delta$ 骨格曲線上で変位 $\delta=16.5\text{mm}$ の時の荷重を P'_u とし、この1/3荷重 $P'_u/3$ における割線剛性を初期剛性 K_I とする。なお $\delta=16.5\text{mm}$ はその2スプリットティ柱梁接合部曲げ実験における梁の回転角 $\theta=1/25$ の時のスプリットティの変位である。 P'_u を通る水平線と初期剛性を示す直線 I_1 との交点の変形を降伏変位 δ_y とし、そのときの荷重を実験降伏耐力 P_y とする。 P_y と P'_u を結んだ直線 I_2 の傾きを2次剛性 K_p とした。

表2 鋼材の機械的性質

試験片	t (mm)	E (N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	伸び率 (%)	降伏比
ウェブ	12	207300	342	491	27.0	0.70
フランジ	19	205010	285	467	28.3	0.61

表3 実験値と計算値

試験体名	実験値					計算値			
	P_y (kN)	P'_u (kN)	P_{max} (kN)	K_I (kN/mm)	K_p (kN/mm)	P_y (kN)	P'_u (kN)	K_I (kN/mm)	K_p (kN/mm)
AP-12	66.6	123.7	342.5	92.9	3.8	58.6	96.0	95.8	2.3
AP-16	105.0	193.2	338.0	174.5	5.7	104.2	170.6	227.1	4.1
AP-19	136.0	275.9	421.0	505.3	8.8	147.0	240.6	380.3	5.8
AbP-12	57.9	109.6	143.8	80.6	3.4	53.7	88.0	95.8	2.1
AbP-16	92.6	163.9	164.0	160.2	4.6	95.5	156.4	227.1	3.8
BP-12	89.1	183.7	358.6	184.4	6.1	79.2	129.7	174.9	3.1
BP-16	141.3	268.6	404.7	353.8	8.1	140.8	230.5	414.7	5.5
BP-19	169.1	351.1	478.4	911.6	11.3	198.6	325.1	694.4	7.8
CP-12	122.5	262.4	433.2	344.4	8.9	122.0	199.8	371.8	4.8
CP-16	199.9	392.1	466.6	565.7	12.2	215.4	354.0	881.3	8.5
CP-19	235.4	469.1	469.1	1258.8	14.5	257.6	423.1	1475.8	10.1

Mode1 $T_y = n_f P_{by}$

Mode2 $T_y = \frac{M_0}{L} + \alpha n_f P_{by}$

Mode3 $T_y = \frac{n_f P_{by} L + 2M_0}{(\beta + \gamma)L}$

Mode4 $T_y = \frac{2M_0}{(\beta - \gamma)L}$

図2 崩壊モードと「田中-田中式」³⁾

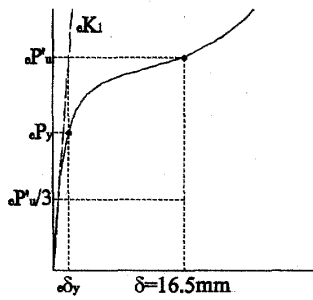


図3 力学的特性の定義

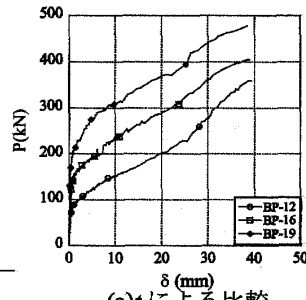
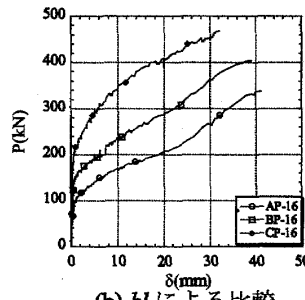
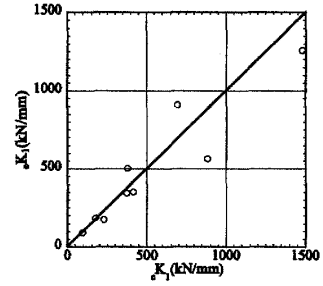
(a) t による比較(b) bl による比較

図5 初期剛性

図4(a)に示すようにティフランジ厚 t が小さいAP-12、BP-12では十分変形が進んだ後で、再び剛性が高くなり耐力上昇が現れた。ティフランジ厚 t が大きい $t=19\text{mm}$ の試験体では最終的にティフランジ側の高力ボルトで破断が生じたが、スプリットティフイレット部に亀裂は見られなかった。他の試験体ではティフランジ側の高力ボルトで破断する前にスプリットティフイレット部に亀裂が生じていた。図4(b)に示すようにティフランジ厚 t が大きくボルト距離 bl が小さいほど、接合部の初期剛性、降伏耐力、最大耐力が大きい。

4. 考察

4.1. 初期剛性

初期剛性 K_1 は、弾性段階では高力ボルト間のスプリットティフランジの曲げ変形のみが進行することから、高力ボルトによる両端固定単純梁として剛性評価を行った。図5に初期剛性の実験値と計算値との対応を示す。図に示すように計算値は実験値を概ね評価できる。図6に初期剛性とボルト距離 bl との関係を示す。ティフランジ厚 t が大きいほど、ボルト距離 bl が小さいほど初期剛性は大きくなっている。

4.2. 耐力評価

図7に「田中-田中式」による耐力の計算値と実験結果との比較を示す。ティフランジ厚 t が小さい試験体に対して「田中-田中式」による計算値は過小評価となっている。これは想定した崩壊モード Mode4 ではティフランジが非常に薄く、ボルト位置で離間が生じる前にティフランジの曲げ崩壊が起こる場合に相当するが、ティフランジの歪分布を見ると塑性ヒンジはボルト位置の外側に移動し高力ボルトの離間が生じたからである。他の試験体では計算値は実験値と概ね良い対応をしている。従来の評価式は安全側で実験値を評価しようと考えられる。

4.3. 2次剛性

2次剛性実験値 K_2 とパラメーターとの関係を図7に示す。図8(a)に示すように高力ボルトの距離が同じ場合、ティフランジ厚 t が大きくなるにつれて剛性は大きくなる。図7(b)に示すように高力ボルト距離 bl が小さいほど2次

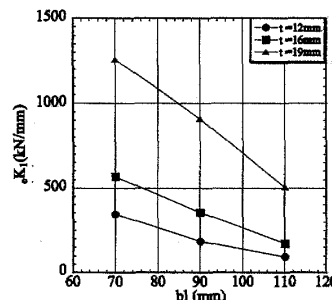
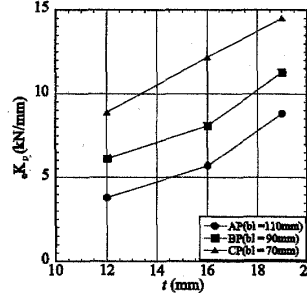
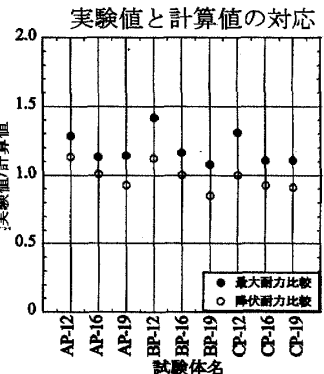


図6 初期剛性と

ボルト距離 bl の関係



(a) ティフランジ厚



試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

実験値と計算値の対応

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名

● 最大耐力比較
○ 降伏耐力比較

実験値/計算値

2.0
1.5
1.0
0.5
0

AP-12 AP-16 AP-19 BP-12 BP-16 BP-19 CP-12 CP-16 CP-19

試験体名